



TESIS - MO142528

STUDI PARAMETRIK DESAIN INOVASI KERAMBA JARING APUNG (KJA) LEPAS PANTAI OCEAN FARMITS

**Yani Nurita Purnawanti ST.
04311650010002**

**DOSEN PEMBIMBING:
Nur Syahroni ST. MT. Ph.D
Dr. Yeyes Mulyadi, ST. MSc**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA 2018**



TESIS - MO142528

STUDI PARAMETRIK DESAIN INOVASI KERAMBA JARING APUNG (KJA) LEPAS PANTAI OCEAN FARMITS

**Yani Nurita Purnawanti ST.
04311650010002**

**DOSEN PEMBIMBING:
Nur Syahroni ST. MT. Ph.D
Dr. Yeyes Mulyadi, ST. MSc**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA 2018**



THESIS - MO142528

PARAMETRIC STUDY FOR INNOVATION DESIGN OF OFFSHORE CAGE OCEAN FARMITS

Yani Nurita Purnawanti ST.
04311650010002

SUPERVISOR:
Nur Syahroni ST. MT. Ph.D
Dr. Yeyes Mulyadi, ST. MSc

Master Degree Program
Offshore Stucture Engineering
Ocean Engineering Departmenet
Faculty Of Marine Technology
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Surabaya, 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


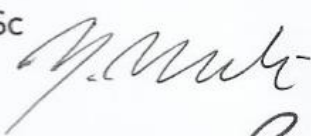



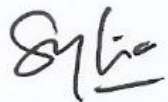
Yani Nurita Purnawanti

NRP. 04311650010002

Tanggal Ujian : 31 Mei 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Nur Syahroni ST. MT. Ph.D (Pembimbing I)
NIP. 19730602 199903 1 002 
2. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc (Pembimbing II)
NIP. 19731207 200112 1 001 
3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji I)
NIP. 19710508 199703 1 001 
4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Penguji II)
NIP. 19711105 199512 1 001 
5. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D (Penguji III)
NIP. 19630728 198803 1 001 
6. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D (Penguji IV)
NIP. 19830806 200604 2 001 



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan
Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D

NIP. 19581005 198603 1 003

STUDI PARAMETRIK DESAIN INOVASI KERAMBA JARING APUNG (KJA) LEPAS PANTAI *OCEAN FARMITS*

Nama : Yani Nurita Purnawanti
NRP : 04311650010002
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni ST. MT. Ph.D
Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

ABSTRAK

Peningkatan konsumsi ikan di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat. Menurut data dari Kementrian Kelautan dan Perikanan Indonesia, peningkatan konsumsi ikan di Indonesia dari tahun 2000 hingga 2015 mencapai 41,11 %. Peningkatan yang besar ini memerlukan inovasi baru tentang pembudidayaan ikan. Salah satu yang sedang berkembang di Indonesia yaitu teknologi akuakultur. Pusat Studi Kelautan LPPM ITS telah mengembangkan KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* yaitu keramba apung lepas pantai yang dirancang khusus untuk perairan Indonesia. Desain ini berdiameter 28m, dengan kedalaman jaring 10m, dan volume kandang 6160 m³. Struktur apung ini ditambatkan pada sistem *mooring* yang memiliki *buoy* dengan konfigurasi *rectangular array*. Dimensi dasar dari bangunan ini sangat berpengaruh terhadap besar respon gerak dan kekuatan struktur *Ocean FarmITS*. Dalam studi ini dilakukan 11 variasi perbandingan diameter dan kedalaman jaring (D/T) pada volume yang sama. Simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh rasui D/T terhadap respon gerak dan kekuatan struktur *Ocean FarmITS*. Simulasi dilakukan pada kondisi lingkungan (angin, arus, dan gelombang) ekstrem atau 100 tahunan di lokasi Perairan Selatan Pulau Jawa. Simulasi dilakukan dengan beban lingkungan dan *time domain* untuk mendapatkan tension maksimum pada tali tambat. Kemudian tegangan tali tambat menjadi input beban untuk analisis kekuatan struktur. Kekuatan struktur dapat diperiksa dari hasil tegangan von mises dan deformasi yang terjadi. Hasil dari studi ini menginformasikan bahwa semakin besar nilai D/T (semakin berbentuk pipih) gerakan struktur semakin kecil, mengakibatkan beban tegangan tali tambat semakin kecil pula, sehingga kekuatan struktur menjadi semakin besar. Selain itu, didapatkan pula ukuran besar diameter dan kedalaman jaring yang optimum dalam kriteria operabilitas.

Kata Kunci : Akuakultur Indonesia, KJA Lepas Pantai, Tegangan, Deformasi

PARAMETRIC STUDY INNOVATION DESIGN OFFSHORE CAGE *OCEAN FARMITS*

Name : Yani Nurita Purnawanti

Student Number : 04311650010002

Supervisor : Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

ABSTRACT

Fish consumption in Indonesia from year to year is continuously increased. According to data from the Indonesian Ministry of Marine Affairs and Fisheries, the increase of fish consumption from 2000 to 2015 had reached 41.11%. This huge increased requires new innovations in fish farming technology, i.e. offshore aquaculture. Research Center LPPM ITS has developed offshore cage namely *Ocean FarmITS*, which is the offshore floating cage specifically designed for Indonesian waters. The design is 28m in diameter, with the net depth of 10m, and the cage volume of 6160m³. This structure is moored to several buoys with a rectangular array configuration. The basic dimensions of this structure has a significant effect of movement and strength of the structure of *Ocean FarmITS*. In this study, there were 11 variations in diameter and depth ratio of nets (D/T) to simulate their effect on movement and structural strength. Simulations were performed on extreme or 100-year environmental conditions (wind, currents, and waves) in the South Java waters location. Simulation is done by frequency domain analysis to know RAO until structure response due to environmental load and time domain to get maximum tension on the mooring line. Then mooring tension becomes load inputs for structural strength analysis. The strength of the structure can be checked from the result of von Mises stress and deformation. The result of this study informs that the bigger the D / T value (the more flat-shaped) the smaller the structure moves, resulting in smaller mooring tension, so the structural strength becomes bigger. In addition, also obtained the size of diameter and the optimum net depth in operability criteria

Keyword : Aquaculture, Indonesia, Offshore Cage, Stress, Deformation

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas segala nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Buku Thesis yang berjudul **STUDI PARAMETRIK DESAIN INOVASI KERAMBA JARING APUNG (KJA) LEPAS PANTAI *OCEAN FARMITS*** dengan lancar. Buku thesis ini disusun untuk menyelesaikan mata kuliah Thesis sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (S2) di Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Buku ini berisi tentang parameter yang berpengaruh terhadap respon gerak KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dan kekuatan statis strukturnya. Diharapkan dengan selesainya buku thesis ini dapat memberikan kebermanfaatan pengetahuan tentang rekayasa teknologi kelautan dan industri kemaritiman. Penulisan buku thesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan koreksi untuk penulisan selanjutnya agar lebih baik. Penulis juga berharap semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, Mei 2018

Yani Nurita Purnawanti

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran proses pengerjaan Buku Tesis ini. Penulis ingin berterima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahannya dalam pengerjaan tugas akhir.
2. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberikan doa dan dukungan.
3. Bapak Nur Syahroni ST. MT. Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang sabar membimbing penulis hingga selesainya buku teseis ini, serta memberikan pencerahan tentang Teknologi KJA Lepas Pantai.
4. Bapak Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan arahan serta motivasi kepada penulis, khususnya dalam memperdalam Teori Bangunan Apung.
5. Bapak Dr.Eng. Rudi Walujo Prastianto, Selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK – ITS.
6. Bagus Gelis Pratama Putra , yang telah membantu penulis dalam pemodelan pada simulasi KJA Lepas Pantai dan diskusi tentang topik dalam buku tesis ini, serta memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
7. Muhammad Rino Athoillah, yang telah membantu penulis dalam menentukan topik tesis KJA lepas pantai, serta teman diskusi yang sangat membantu peneullis dalam pengerjaan buku tesis ini.
8. Sahabat penulis Mas Norman, Fyan, Fahreza, Thesyandra, Mbak Ita, Winda, Ilham, Ghea, Mbak Amel, Mbak Titis atas ketersediaannya berdiskusi dengan penulis tentang teori-teori yang berkaitan dengan tesis ini.
9. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	7
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1 Tinjauan Pustaka.....	9
2.1.1 <i>Offshore Aquaculture</i>	10
2.2 Dasar Teori	15
2.2.1 Analisis Dimensi	15
2.2.2 Beban Lingkungan	17
2.2.3 Respon Gerak	18
2.2.4 Tegangan Tali tambat.....	21
2.2.5 Metode Elemen Hingga.....	22
2.2.6 Tegangan Aksial.....	25
2.2.7 Bending Stress.....	26
2.2.8 Tegangan <i>Von Misses</i>	27
BAB III	29
METODOLOGI PENELITIAN	29

3.1 Diagram alir.....	29
3.2 Langkah pengerjaan	30
3.3 Pengumpulan Data	33
3.3.1 Data Lingkungan.....	33
3.3.2 Data Struktur.....	33
3.3.3 Data Tali Tambat	35
BAB 4	37
HASIL DAN ANALISIS	37
4.1 Desain KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	37
4.2 Desain Variasi Parameter	38
4.2.1 Analisis Dimensi.....	39
4.2.2 Pemodelan Variasi Parameter D/T pada Struktur KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	41
4.3 Respon gerak KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	45
4.3.1 RAO Gerakan Translasi.....	48
4.3.2 RAO Gerakan Rotasi	55
4.4 Spektra Gelombang	62
4.5 Respon Struktur	63
4.6 Nilai Stokastik Gerakan KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i> pada Kondisi Lingkungan.....	68
4.6.1 Gerakan Translasi	72
4.6.2. Gerakan Rotasi.....	75
4.7 Kriteria Operabilitas	79
4.7.1. Percepatan Heave.....	79
4.7.2. Amplitudo Gerakan Pitch	80
4.8 Analisis Tegangan Tali KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	81
4.8.1 Arah Pembebanan 0^0	82
4.8.2 Arah Pembebanan 45^0	84
4.9 Analisis Kekuatan Struktur dan Deformasi	90
4.9.1 Pemodelan Struktur KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	90
4.9.2 Kondisi Pembebanan	91
4.9.3 Tegangan dan Deformasi Maksimum.....	93

BAB 5	100
KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Kesimpulan	101
5.2 Saran	102
DAFTAR PUSTAKA.....	103
LAMPIRAN	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Tingkat Konsumsi Ikan di Indonesia (Kg/kapita/tahun).....	1
Gambar 1. 2 Grafik Budidaya Ikan di Indonesia menurut KKP (ton)	2
Gambar 1. 3 Lokasi Perairan Selatan Pulau Jawa.....	2
Gambar 1. 4 Desain KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i> (a) tampak isometri dan (b) tampak samping.....	4
Gambar 1. 5 Desain <i>mooring</i> tunggal KJA Lepas Pantai (a) tampak atas (b) tampak isometrik.....	4
Gambar 1. 6 Sistem Tambat jamak (<i>linear array</i>)	5
 Gambar 2. 1 <i>Semisubmersible Offshore Aquaculture</i> di Norwegia	11
Gambar 2. 2 contoh jaring bahan (a) nylon dan (b) alloy	12
Gambar 2. 3 Desain Taut <i>mooring system Offshore Aquaculture</i>	13
Gambar 2. 4 <i>Tension Leg Mooring Offshore Aquaculture</i>	13
Gambar 2. 5 <i>Catenary Mooring System Offshore Aquaculture</i>	14
Gambar 2. 6 Skema diskret / mesh pada model geometri yang kompleks	22
Gambar 2. 7 Elemen garis (kiri), Elemen bidang (tengah), Elemen solid (kanan)	23
Gambar 2. 8 Objek (a), Elemen (b), node (c).....	23
Gambar 2. 9 Elemen garis (1), Elemen bidang (2) dan Elemen solid (3).	24
Gambar 2. 10 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial.....	26
Gambar 2. 11 <i>Bending stress</i> pada suatu penampang	27
Gambar 2. 12 <i>Von Misses stress</i> pada suatu penampang	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Studi Parametrik Desain Ocean FarmITS	29
Gambar 3. 2 Drawing Keramba Jaring Apung Lepas Pantai Ocean FarmITS	34
Gambar 4. 1 Model <i>Ocean FarmITS</i> tampak Isometri (Sumber: Athoillah, 2017)	37
Gambar 4. 2 Model <i>Ocean FarmITS</i> Tampak Samping dan Atas	38
Gambar 4. 3 Meshing pada Struktur KJA Ocean FarmITS	45
Gambar 4. 4 Pemodelan Kondisi Tertambat pada KJA Ocean FarmITS.	45
Gambar 4. 5 Pemodelan Jaring dengan Penyederhanaan.....	46

Gambar 4. 6 Arah Pembebanan pada Struktur <i>Ocean FarmITS</i>	47
Gambar 4. 7 RAO Gerakan Surge arah 0^0 Terapung Bebas.....	48
Gambar 4. 8 RAO Gerakan Surge arah 0^0 Tertambat	49
Gambar 4. 9 RAO Gerakan Sway arah 0^0 Terapung Bebas	50
Gambar 4. 10 RAO Gerakan Sway arah 0^0 Tertambat.....	50
Gambar 4. 11 RAO Gerakan Heave arah 0^0 Terapung Bebas.....	51
Gambar 4. 12 RAO Gerakan Heave arah 0^0 Tertambat	51
Gambar 4. 13 RAO Gerakan Surge arah 45^0 Terapung Bebas.....	52
Gambar 4. 14 RAO Gerakan Surge arah 45^0 Tertambat	52
Gambar 4. 15 RAO Gerakan Sway arah 45^0 Terapung Bebas	53
Gambar 4. 16 RAO Gerakan Sway arah 45^0 Tertambat.....	53
Gambar 4. 17 RAO Gerakan Heave arah 45^0 Terapung Bebas.....	54
Gambar 4. 18 RAO Gerakan Heave arah 45^0 Tertambat	55
Gambar 4. 19 RAO Gerakan Roll arah 0^0 Terapung Bebas	56
Gambar 4. 20 RAO Gerakan Roll arah 0^0 Tertambat.....	56
Gambar 4. 21 RAO Gerakan Pitch arah 0^0 Terapung Bebas.....	57
Gambar 4. 22 RAO Gerakan Pitch arah 0^0 Tertambat	57
Gambar 4. 23 RAO Gerakan Yaw arah 0^0 Terapung Bebas	58
Gambar 4. 24 RAO Gerakan Yaw arah 0^0 Tertambat	58
Gambar 4. 25 RAO Gerakan Roll arah 45^0 Terapung Bebas	59
Gambar 4. 26 RAO Gerakan Roll arah 45^0 Tertambat.....	59
Gambar 4. 27 RAO Gerakan Pitch arah 45^0 Terapung Bebas.....	60
Gambar 4. 28 RAO Gerakan Roll arah 45^0 Tertambat.....	60
Gambar 4. 29 RAO Gerakan Yaw arah 45^0 Terapung Bebas	61
Gambar 4. 30 RAO Gerakan Yaw arah 45^0 Tertambat	61
Gambar 4. 31 Lokasi Instalasi KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	62
Gambar 4. 32 Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 4,5\text{m}$, $T_p = 4,71\text{s}$).....	63
Gambar 4. 33 Spektra Respon Gerakan Maksimum Surge Tertambat.....	65
Gambar 4. 34 Spektra Respon Gerakan Maksimum Sway Tertambat	65
Gambar 4. 35 Spektra Respon Gerakan Maksimum Heave Tertambat.....	66
Gambar 4. 36 Spektra Respon Gerakan Maksimum Roll Tertambat	67
Gambar 4. 37 Spektra Respon Gerakan Maksimum Pitch Tertambat.....	67

Gambar 4. 38 Spektra Respon Gerakan Maksimum Yaw Tertambat.....	68
Gambar 4. 39 Hubungan D/T dengan Gerakan Surge	72
Gambar 4. 40 Hubungan D/T dengan Gerakan Sway	73
Gambar 4. 41 Linierisasi Hubungan D/T dengan Gerakan Sway	74
Gambar 4. 42 Hubungan D/T dengan Gerakan Heave	74
Gambar 4. 43 Hubungan D/T dengan gerakan Roll.....	76
Gambar 4. 44 Tren Nilai Stokastik Gerakan Pitch.....	77
Gambar 4. 45 Linierisasi Hubungan D/T dengan Gerakan Pitch.....	77
Gambar 4. 46 Hubungan D/T dengan gerakan Yaw	78
Gambar 4. 47 Linierisasi Hubungan D/T dengan gerakan Yaw	78
Gambar 4. 48 Percepatan Heave pada masing-masing D/T.....	80
Gambar 4. 49 Nilai Stokastik Gerakan Pitch Rata-Rata	81
Gambar 4. 50 Konfigurasi Tali Tambat pada KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i> 82	
Gambar 4. 51 Tegangan Tali Tambat pada Cable 6.....	82
Gambar 4. 52 Tegangan Tali Tambat pada Cable 7.....	83
Gambar 4. 53 Tegangan Tali Tambat pada Cable 5.....	83
Gambar 4. 54 Tegangan Tali Tambat pada Cable 8.....	84
Gambar 4. 55 Tegangan Tali Tambat pada Cable 7.....	84
Gambar 4. 56 Tegangan Tali Tambat pada Cable 8.....	85
Gambar 4. 57 Tegangan Tali Tambat pada Cable 1.....	86
Gambar 4. 58 Tegangan Tali Tambat pada Cable 6.....	86
Gambar 4. 59 Tren Nilai Tension Maksimum Arah Beban 0^0	89
Gambar 4. 60 Tren Nilai Tension Maksimum Arah Beban 45^0	89
Gambar 4. 61 Model detail struktur KJA Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>	90
Gambar 4. 62 (a) Meshing pada Model KJA Lepas Pantai (b) <i>Mesh Sensitivity</i> ..	91
Gambar 4. 63 Kondisi Pembebanan dan Kondisi Batas Model Struktur KJA	92
Gambar 4. 64 Tegangan Maksimum pada Struktur KJA Lepas Pantai	94
Gambar 4. 65 Tren Tegangan Von Mises pada Masing-Masing D/T.....	98
Gambar 4. 66 Tren Tegangan Von Mises pada Masing-Masing D/T.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data lingkungan perairan selatan Pulau Jawa	33
Tabel 3. 2 Data dimensi awal struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai Ocean FarmITS.....	34
Tabel 4. 1 Variabel yang Mempengaruhi Gerakan KJA Lepas Pantai.....	39
Tabel 4. 2 Perhitungan Spektra Respon Surge Untuk Ocean <i>FarmITS</i> Pada D/T 3	69
Tabel 4. 3 Nilai Stokastik Amplitudo Gerakan Struktur <i>Ocean FarmITS</i> pada Gelombang Acak	71
Tabel 4. 4 Percepatan Heave pada masing-masing D/T	80
Tabel 4. 5 Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Arah beban 0^0	87
Tabel 4. 6 Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Arah beban 45^0	87
Tabel 4. 7 Properti Mekanik HDPE	90
Tabel 4. 8 Input Gaya Tarik Tali Tambat pada masing-masing D/T	93
Tabel 4. 9 Stress dan Deformasi Maksimum pada masing-masing model D/T	94
Tabel 4. 10 Lokasi Tegangan dan Defotmasi Maksimum pada masing-masing D/T	95

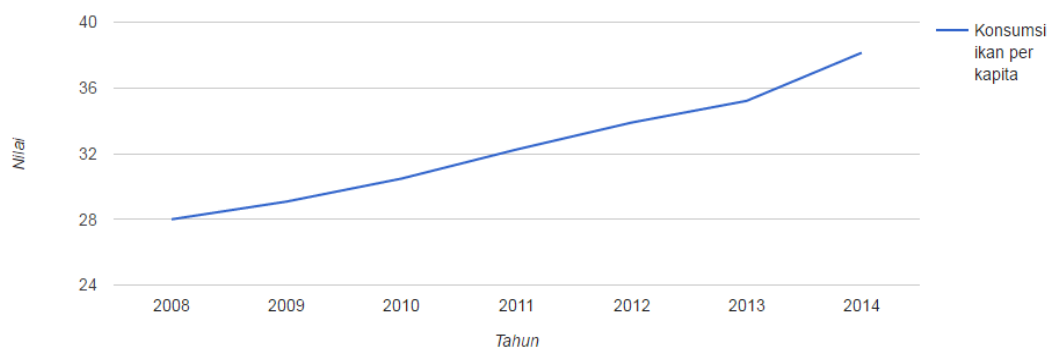
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi akuakultur mulai berkembang sejak 1970, hingga saat ini berkembang pesat pada sektor produksi pangan dengan peningkatan 32,4% pada tahun 2004. Indonesia termasuk salah satu negara yang mengembangkan teknologi akuakultur. Industri *sea-Cage* ini telah eksis di negara Norwegia, Chile, China, Spanyol, Australia, Jepang, Indonesia, Skotlandia, Irlandia, Kanada, Yunani, dan Faroe Island dengan berbagai budidaya spesies. (FAO, 2006)

Di Indonesia teknologi *floating Cage* sangat prospektif. Hal ini didukung oleh data tingkat konsumsi ikan di Indonesia dan data hasil budidaya ikan di Indonesia yang tersebar di beberapa provinsi. Peningkatan konsumsi ikan di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1. 1 dimana konsumsi ikan perkapita keluarga terus meningkat dari tahun 2008 hingga 2014.



Gambar 1. 1 Grafik Tingkat Konsumsi Ikan di Indonesia (Kg/kapita/tahun)

(Sumber : Kementerian Kelautan dan Perikanan, “Tingkat konsumsi ikan di Indonesia”)

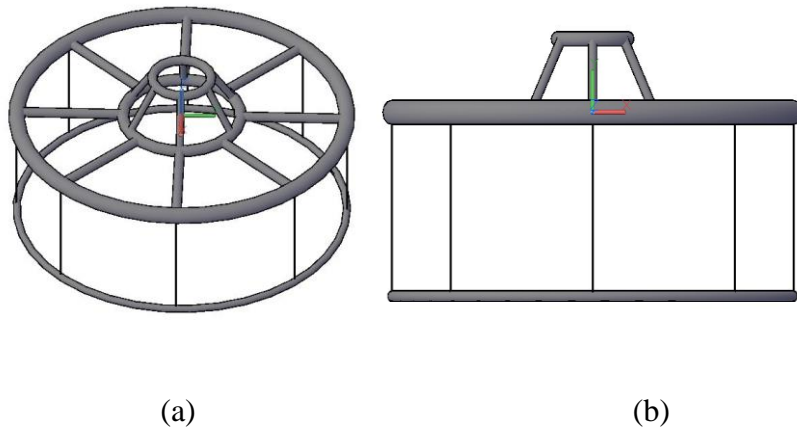
Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia memiliki data dimana tiap provinsi memiliki kapasitas produksi ikan mulai dari tahun 2006-2014. Setiap provinsi rata-rata mengalami kenaikan produksi ternak ikan tersebut. Hal ini dapat kita lihat pada grafik pada Gambar 1. 2.

Menurut FAO, persediaan ikan laut berkurang akibat *overfishing* dan tidak dapat memenuhi kebutuhan ikan di dunia. Oleh karena itu, hal ini menjadi motivasi bagi peneliti untuk mengembangkan teknologi *Aquaculture* pada laut lepas.

Floating Cage Aquaculture merupakan keramba ikan apung yang dapat dipasang pada *nearshore* ataupun *Offshore*. *Floating Cage* tradisional ditempatkan di daerah dekat dengan pantai (*near shore*), dan ekspansinya terbatas akibat kemampuan penyusutan dari *near shore site* dan peningkatan pengaruh lingkungan dari *Aquaculture* sehingga *fish farm* dipindahkan di laut lepas. Teknologi *floating Cage* yang beroperasi di laut lepas biasa disebut *Offshore Aquaculture* (Vielma dan Kankainen, 2013).

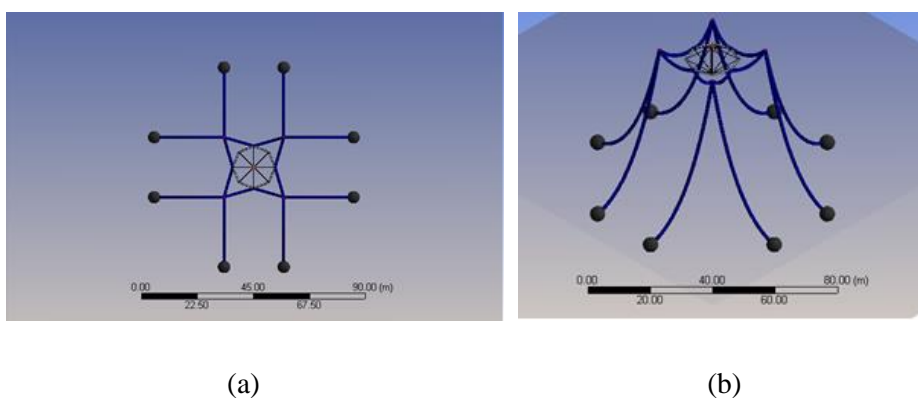
Di laut lepas area *floating Cage* akan mengalami beban lingkungan yang sangat besar, terutama beban arus dan gelombang. Untuk mengurangi kegagalan, maka dikembangkan *semisubmersible net Cage* dengan beberapa sistem *mooring* (Xu, et.al, 2013).

Untuk memfasilitasi budidaya ikan laut di Indonesia khususnya di perairan selatan Laut Jawa Pusat Studi Kelautan LPPM ITS Surabaya melakukan penelitian dan mengembangkan inovasi bangunan *floating Cage* yaitu *Offshore Cage* atau bisa disebut juga Keramba Jaring Apung (KJA) Lepas Pantai *Ocean FarmITS*. Desain seperti pada Gambar 1.4 di bawah ini sangat cocok untuk perairan Indonesia. Disamping volume kandang bisa maksimal, fabrikasi juga dapat dilakukan dengan mudah. *Ocean FarmITS* dirancang untuk budidaya ikan tuna yang paling banyak tersebar di perairan selatan Pulau Jawa. Menurut peta sebaran ikan potensi terbesar pada lokasi tersebut yaitu ikan tuna sirip biru (Departemen Perikanan dan Kelautan, 2013).



Gambar 1. 4 Desain KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* (a) tampak isometri dan (b) tampak samping

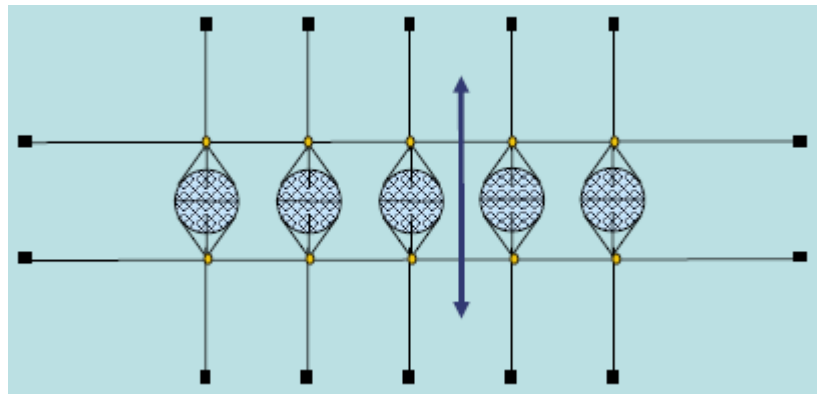
Pada umumnya *floating Cage* ditambat menggunakan rope sintetis dengan sistem tambat spread (menyebar), tunggal point *mooring*, atau ada juga dengan sistem spar (*fix*). Untuk desain penambatan pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* menggunakan sistem tambat catenary *mooring* seperti pada Gambar 1.5. Sistem tambat ini memungkinkan respon gerak struktur menjadi agak besar, namun tegangan tali tambat yang terjadi kecil.



Gambar 1. 5 Desain *mooring* tunggal KJA Lepas Pantai (a) tampak atas (b) tampak isometrik

Sumber : Adi (2017)

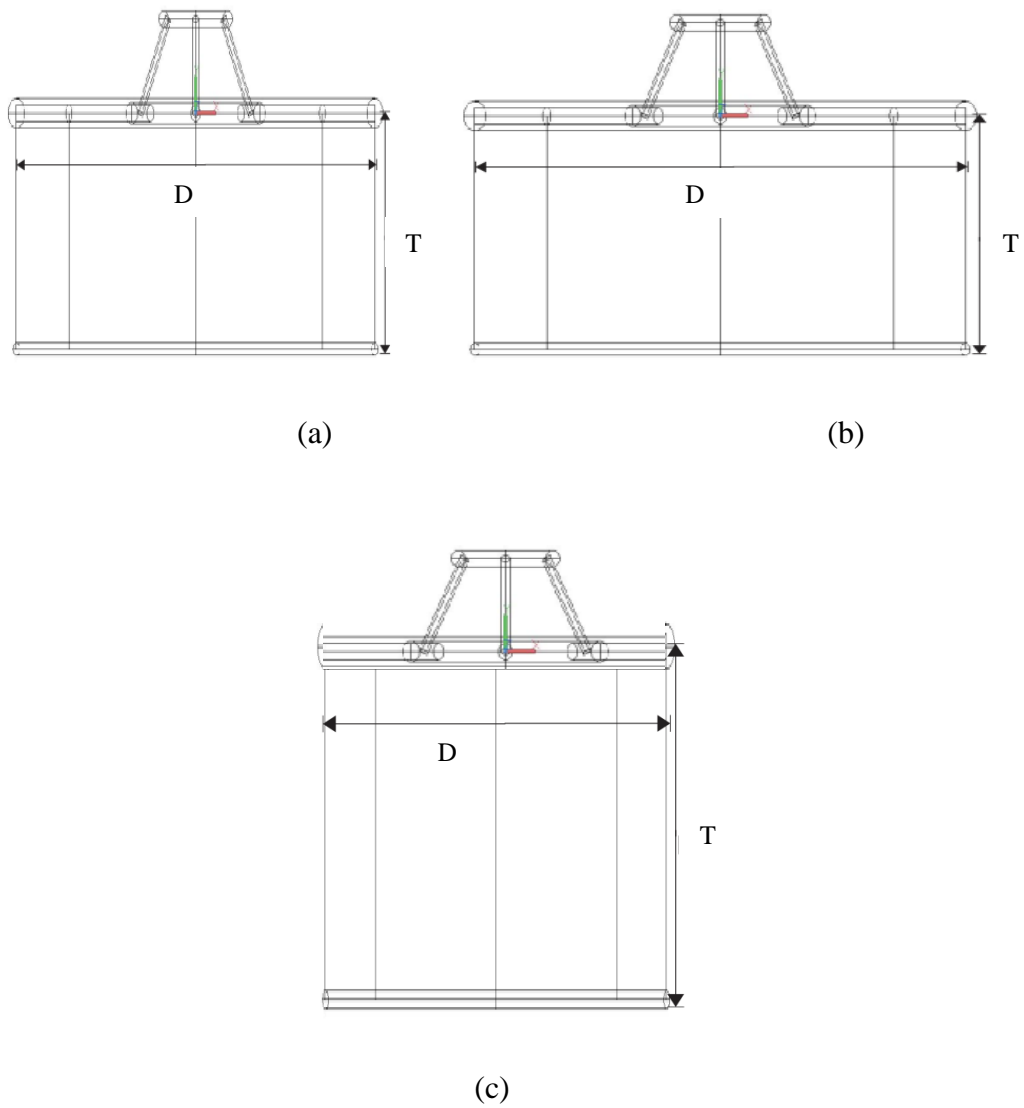
Ocean FarmITS merupakan desain baru sehingga perlu dilakukan studi parametrik variasi ukuran kedalaman jaring dan diameternya secara numerik sebelum dilakukan eksperimen. Ilustrasi variasi perbandingan ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* disajikan pada Gambar 1.7. Analisis yang akan dilakukan yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi diameter dan kedalaman jaring KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* terhadap respon geraknya. Respon gerak yang terjadi menimbulkan tegangan tali tambat yang dapat berakibat pada kekuatan strukturnya. Oleh karena itu, analisis pada tali tambat dan struktur juga perlu dilakukan.



Gambar 1. 6 Sistem Tambat jamak (*linear array*)

Sumber : WAS *Aquaculture America* (2009)

Sistem tambat pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dapat dilakukan dengan sistem *mooring* tunggal dan *mooring* jamak. Sistem *mooring* tunggal seperti pada Gambar 1.5 yaitu satu keramba ditambat *buoy*, kemudian ditambatkan pada jangkar di dasar laut. Sedangkan sistem tambat jamak beberapa keramba dirangkai secara linier seperti pada Gambar 1.6, kemudian ditambatkan ke *buoy*, lalu *buoy* ditambatkan pada jangkar di dasar laut. Sistem tambat seperti ini lebih efektif dibandingkan dengan sistem *mooring* tunggal.



Gambar 1.7 Ilustrasi variasi perbandingan ukuran D dan H pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* (a) $D=T$ (b) $D>T$ (c) $D<T$

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap respon gerak KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*?
2. Bagaimana pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap tegangan tali tambat pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*?
3. Bagaimana pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap kekuatan statis struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap respon gerak KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*.
2. Mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap tegangan tali tambat pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*.
3. Mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter (D) dan kedalaman jaring (T) terhadap kekuatan statis struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian ini dapat dipakai sebagai acuan atau referensi dalam pengembangan desain KJA Lepas Pantai.
2. Mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi respon gerak dan kekuatan struktur KJA lepas pantai.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam studi ini yaitu:

1. Lokasi KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* di Laut Selatan Pulau Jawa.
2. Beban lingkungan yang diperhitungkan yaitu beban angin, arus dan gelombang.
3. Jangkar dimodelkan sebagai *fixed anchor*.
4. Jaring dimodelkan dengan penyederhanaan yaitu sebagai tali dengan kekakuan sangat kecil atau sangat lentur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian tentang *Floating Cage Aquaculture* telah dilakukan. Xu, et.al 2013 melakukan penelitian tentang kegagalan struktur *floating Cage* akibat gelombang badai dan arus selama typhoon events. Penelitian ini menghasilkan ketika net *Cage* tenggelam dibawah permukaan air, deformasi dapat terjadi dengan signifikan, dan gaya tension tali tambat pada kondisi tenggelam lebih besar daripada saat di permukaan. Selain tegangan pada tali tambat, struktur yang tenggelam akan mengalami kondisi kritis pada kondisi badai (Kim, et.al, 2011) terutama pada sambungan tubular.

Penelitian yang dilakukan oleh Kristiansen dan Faltinsen 2012 tentang sensitivitas parameter untuk memprediksi gaya drag dan lift pada jaring dengan mengkomparasi hasil analisis numerik dan eksperimen. Gaya drag dan lift serta gaya viscous pada jaring dapat dihitung berdasarkan persamaan Morison.

Studi tentang sensitivitas parameter pada *mooring line floating Cage* menyatakan bahwa beban *mooring* tidak sensitif pada variasi beban gelombang untuk struktur *floating Cage* yang dilengkapi dengan floater elastis. (Kristiansen dan Faltinsen, 2014).

Floating Cage type *semisubmersible* akan stabil dan efektif pada kondisi tercelup dengan mereduksi *buoyancy* cadangan. Solusi numerik sangat efektif untuk sea state dengan peak factor rendah. Penulis juga menemukan bahwa bertambahnya kedalaman sarat air pada sistem *Cage* seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang. Namun pengaruh tinggi gelombang lebih sedikit ketika dalam kondisi reguler dibandingkan dalam kondisi ireguler (Shainee, et.al., 2013) .

Kecepatan arus laut juga sangat berpengaruh terhadap stabilitas *floating Cage*. Penelitian yang dilakukan oleh (Decew, et.al., 2010) dan Xu (2014) adalah tentang perilaku dinamis tunggal point *mooring semisubmersible* fish *Cage* dengan variasi

kecepatan arus. Untuk kecepatan arus yang tinggi, respon gerak fish *Cage* menjadi tidak stabil. Selain itu, tegangan tali tambat semakin bertambah secara eksponensial seiring dengan bertambahnya kecepatan arus.

Analisis numerik pada tegangan tali tambat dan deformasi struktur *floating* fish *Cage* dilakukan oleh Huang, et.al (2016). Pada penelitian ini menjelaskan prosedur analisis numerik perilaku *floating Cage* pada gelombang acak dan deformasi struktur. Metode yang digunakan yaitu Finite Element Methode dengan membagi struktur menjadi beberapa segmen dan nodes. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa ada pengaruh dimensi struktur terhadap perilaku dinamis *floating Cage*. Hal ini sangat sesuai untuk dijadikan acuan dalam melakukan penelitian pada struktur KJA Lepas Pantai

2.1.1 Offshore Aquaculture

Offshore Aquaculture merupakan teknologi budidaya ikan di lepas pantai. Desain dan tipe *Offshore Aquaculture* sangat bervariasi, karena di lepas pantai bangunan tidak lepas dari pengaruh kondisi lingkungan, sehingga desain dan fasilitas perlu disesuaikan untukantisipasi. Bangunan *offshore aquaculture* memiliki bagian utama berupa *cage* (keramba), jaring, dan sistem tambat.

2.1.1.1 Cages (keramba)

Cage atau keramba adalah peralatan utama yang terdapat pada *Offshore Aquaculture*. Keramba yang digunakan dalam *Offshore Aquaculture* mempunyai tipe dan desain yang beragam. Menurut Olivares (2003), keramba atau *Cages* secara umum dikelompokkan menjadi *fixed* (terpancang), *floating* (terapung), *semisubmersible*, dan *submerged* (tenggelam).

Dalam penelitian ini akan dibahas lebih lanjut tentang *Offshore Aquaculture* jenis *semisubmersible*. Menurut Vielma dan Kankainen (2013), *Offshore Aquaculture* tipe *semisubmersible* dibagi menjadi *semisubmersible* fleksibel, dan *semisubmersible* rigid.



Gambar 2. 1 *Semisubmersible Offshore Aquaculture* di Norwegia

(Sumber: www.maritime-executive.com)

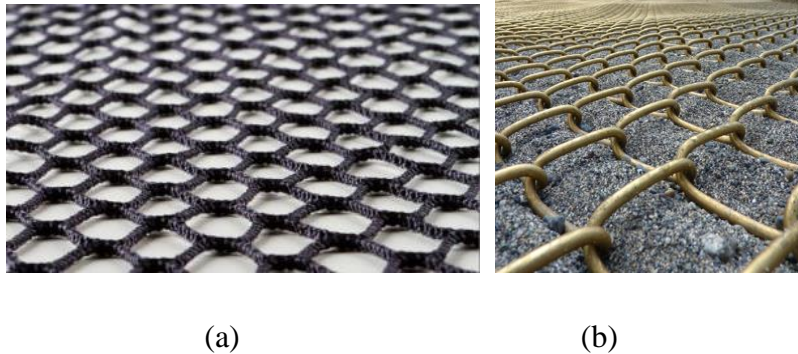
Salah satu contoh sistem KJA Lepas Pantai yang telah beroperasi yaitu *Semisubmersible Offshore Aquaculture* di Norwegia. Sistem pada Gambar 2.1 biasa dipakai pada area laut terbuka, keramba yang tenggelam di bawah permukaan laut dapat menghindari efek dari badai yang dekat pada permukaan air. Selain itu beberapa alga yang beracun dapat dihindari menggunakan sistem keramba yang ditenggelamkan ini. Berbagai bentuk dan struktur telah ada dan jenis keramba ini memerlukan sistem dimana dapat dinaikan untuk perawatan.

Sistem yang tenggelam ini tidak sebanyak sistem yang mengapung dipermukaan karena investasi yang nilainya cukup tinggi dan pemberian makan serta mengurus pakan ikan yang cukup sulit. Namun keuntungan dari sistem ini adalah suhu yang lebih stabil untuk ikan yang berada di kedalaman lebih dan keramba tersebut tidak perlu dibersihkan seperti halnya sistem yang berada dipermukaan. Selain itu lautan yang lebih dalam lebih cepat membuat ikan tumbuh, ikan tidak mudah *stress*, lebih tahan hidup dan efisiensi pakannya lebih baik.

2.1.1.2 Nets (Jaring)

Jaring yang biasanya digunakan pada *Offshore Aquaculture* menggunakan material nylon, PET (Polyethylene terephthalate), dan Dyneema. Jaring pada *floating Cage Aquaculture* jika dilihat dari dekat tampak seperti pada Gambar 2.2. Desain material, bentuk dan ukuran jaring dibuat berdasarkan kondisi lingkungan. Bahkan

untuk lingkungan yang ekstrim jaring dapat menggunakan material tembaga dan stainless steel untuk mengantisipasi kerusakan akibat arus yang deras.



Gambar 2. 2 contoh jaring bahan (a) nylon dan (b) alloy

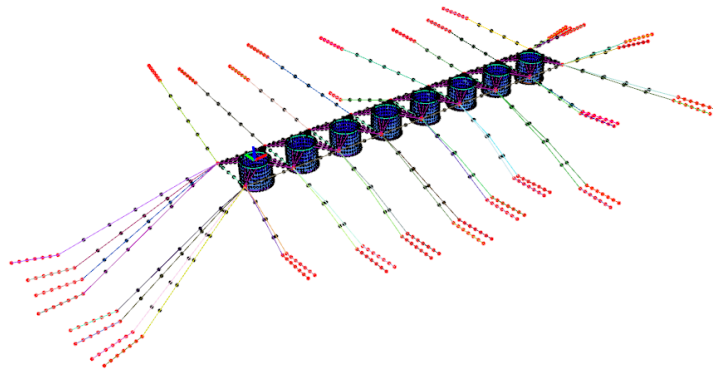
(Sumber : www.cuAquaculture.org)

2.1.1.3. Sistem Tambat

Sistem tambat pada *Offshore Aquaculture* harus didesain sesuai dengan bentuk dan ukuran *Cages*. Selain itu, harus disesuaikan juga dengan kondisi lingkungannya. Beberapa sistem tambat yang digunakan pada *Offshore Aquaculture* yaitu :

a. *Taut leg mooring system*

Pada sistem ini *pre-tensioned mooring lines* dibentuk antara bangunan apung dan dasar laut sekitar 30-40 derajat kemiringan. Titik jangkar pada sistem ini harus dapat bertahan pada gaya vertical maupun horizontal. Gaya pengembali pada sistem ini diberikan oleh elastisitas pada *mooring linenya*. Pada sistem ini tali tambat memiliki kekakuan yang sangat tinggi, sehingga gerakan struktur lebih terbatas, namun tegangan talinya sangat tinggi. Contoh desain taut *mooring system* seperti pada Gambar 2.3.

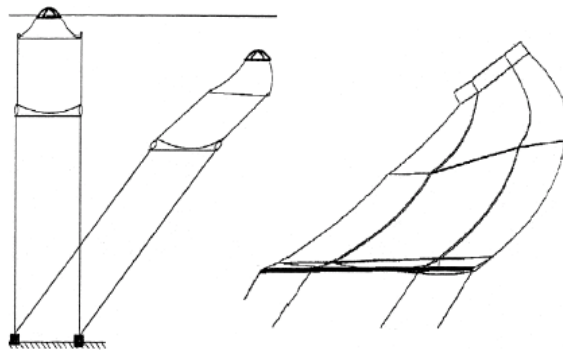


Gambar 2. 3 Desain Taut mooring system *Offshore Aquaculture*

(sumber : www.poseidonos.com)

b. *Tension leg mooring system*

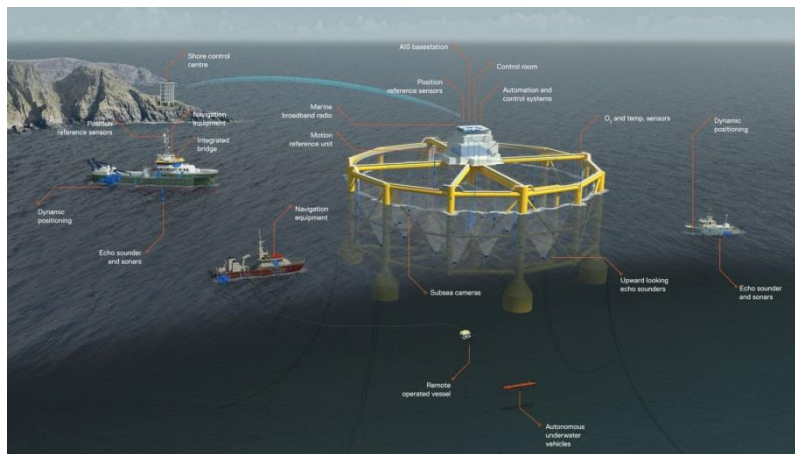
Seperti namanya “*tension leg*” maka sistem ini terdiri dari kaki tubular berbahan baja. Kaki tersebut terdiri dari beberapa baja tubular yang biasa disebut sebagai *tendon*. Tingginya tegangan pada kakinya maka membatasi pergerakan secara horizontal, dank arena kekakuan yang cukup tinggi maka gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* diabaikan. Contoh ilustrasi *tension leg mooring system* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 4 *Tension Leg Mooring Offshore Aquaculture*

c. Catenary mooring system

Sistem tambat ini paling sering digunakan pada perairan dangkal. Akibat gravitasi pada *catenaries* antara *floating unit* dan dasar permukaan laut maka tipe ini akan memberikan jenis tali yang menggantung sehingga panjangnya akan melebihi kedalaman laut dan titik jangkar pada sistem tambat ini akan terkena gaya horizontal. Ilustrasi *catenary mooring system* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Sistem tambat ini sering digunakan untuk *Offshore Aquaculture* karena dengan konfigurasi *catenary* tegangan tali tambatnya tidak terlalu tinggi.



Gambar 2. 5 Catenary Mooring System Offshore Aquaculture

Gambar 2.5 (sumber: www.maritime-executive.com)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Analisis Dimensi

Dalam merancang eksperimen ataupun simulasi, perlu dipertimbangkan banyak pengaruh yang terjadi di lapangan. Faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diidentifikasi dengan besaran-besaran atau dimensi, sehingga dapat ditentukan bentuk hubungan diantaranya. Analisa dimensi ini banyak membantu dalam pekerjaan eksperimen dan akan mengarahkan pada sesuatu yang secara nyata mempengaruhi fenomena yang ada. Semua besaran fisik dapat dinyatakan dalam suatu sistem gaya (F), panjang (L) – waktu (T) (force – length – time, FLT) atau massa (M), panjang (L) – waktu (T) (mass – length – time, MLT). Dimensi-dimensi tersebut merupakan dimensi dasar.

Analisis dimensi dilakukan untuk menyederhanakan variabel dalam desain eksperimen (Chery, 1967). Menyederhanakan variabel dilakukan dengan membuat parameter tak berdimensi. Ada beberapa metode dalam melakukan analisis dimensi, yaitu Raileigh, Buckingham PI, dan metode mariks. Metode raileigh dan Buckingham PI dapat dilakukan jika variabel sedikit. Untuk variabel dalam jumlah banyak, metode ini kurang bisa mengakomodasi.

a. *Metode Rayleigh*

Metode rayleigh merupakan cara yangn paling sederhana. Metode ini digunakan untuk variabel yang tidak terlalu banyak, karena bilangan tak berdimensi langsung diturunkan dari hubungan parameter yang ada. Berikut prosedur analisi dimensi metode Rayleigh:

1. Ditulis hubungan suatu fungsi dengan semua variabel yang berpengaruh
2. Dibuat persamaan dimana variabel yang berpengaruh dipangkatkan dengan a,b,c,...dst.
3. Dibuat persamaan dengan menuliskan semua variabel dalam bentuk dimensi dasar.

4. Mencari nilai pangkat a, b, c, \dots dst. dari dimensi dengan menyelesaikan persamaan yang terbentuk secara simultan.
5. Substitusi nilai pangkat dengan persamaan utama.

b. Metode Buckingham (Phi-Teorema)

Pada tahun 1915 E. Buckingham memberikan prosedur alternatif yang sekarang disebut teorema pi Buckingham. Istilah pi diambil dari notasi matematika π , yang berarti deret variable-variabel. Kelompok-kelompok bilangan tak berdimensi yang didapatkan dari teorema itu berupa deret pangkat yang dinyatakan dengan π_1, π_2, π_3 , dan sebagainya. Metode ini memungkinkan kita untuk memperoleh “pi” —“pi” itu secara berurutan, tanpa harus memakai pangkat-pangkat yang bebas. Untuk lebih jelasnya berikut ini disajikan langkah prosedur penyelesaian analisa dimensi dengan metode Buckingham :

1. Daftar dan hitung n variabel yang ada. Jika ada variabel yang penting terlewat, analisis dimensi akan gagal.
2. Daftar dimensi setiap variabelnya menurut MLT atau FLT.
3. Asumsikan jumlah dimensi berbeda yang ada, dan carilah variabel yang tidak membentuk suatu deret "pi". Jika tidak berhasil, kurangi dengan satu, kemudian ulangi prosedur.
4. Pilihlah variabel yang tidak membentuk suatu deret "pi". Pilih densitas, atau kecepatan, atau panjang.
5. Tambahkan satu variabel pada variabel yang dipilih dan bentuk sebuah deret pangkat. Secara aljabar carilah pangkat-i pangkat yang memuat deret itu menjadi bilangan tak berdimensi.
6. Tulis fungsi bilangan tak berdimensi yang diperoleh dan periksa, apakah semua kelompok "pi" dimensinya bilangan tak berdimensi.

c. Metode Matriks

Metode matriks paling banyak digunakan untuk penyelesaian analisis dimensi dengan variabel yang berpengaruh cukup banyak. Metode ini memanfaatkan invers matriks sehingga dalam pengerjaannya dapat dibantu menggunakan perangkat lunak. Berikut langkah-langkah analisis dimensi menggunakan metode matriks:

1. Data seluruh variabel beserta dimensinya yang berpengaruh.
2. Dari variabel yang diketahui *repeating variable*. *Repeating* variabel atau variabel berulang yang dipilih harus dapat mewakili seluruh variabel.
3. Variabel berulang disusun sebagai matriks [A], dan variabel sisanya disusun sebagai matriks [B].
4. Penyelesaiannya yaitu invers matriks A dikalikan dengan matriks B atau $[A]^{-1} \times [B]$.
5. Dilakukan *compounding* atau penyesuaian parameter tak berdimensi.

Analisis dimensi pernah dilakukan pada penelitian model sistem hidrolik (Langhaar, 1951). Dalam penelitian model sistem hidrolik ini analisis dimensi dilakukan menggunakan metode buckingham PI. Dalam penelitian ini analisis dimensi tidak dilakukan dengan metode Rayleigh ataupun Buckingham PI karena variabel cukup banyak. Alternatif lain yaitu menggunakan metode matriks.

2.2.2 Beban Lingkungan

Struktur KJA Lepas Pantai akan dioperasikan pada kondisi lingkungan yang sebenarnya, sehingga perlu diperhitungkan beban lingkungan dalam simulasi. Beban lingkungan yang sangat berpengaruh pada KJA Lepas Pantai yaitu beban angin, arus, dan gelombang. Ketiga beban lingkungan tersebut diakumulasikan dalam bentuk spektrum gelombang.

Persamaan spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini adalah persamaan spektrum JONSWAP karena parameter yang dimasukkan sesuai dengan

karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan (Djarmiko, 2012).

Persamaan spektrum JONSWAP adalah sebagai berikut :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau \omega_0^2} \right]} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

$$\alpha = 0,076 (X_0)^{-0.22}$$

$$X_0 = gX/U_w^2$$

$$X = \text{panjang fetch}$$

$$U_w = \text{kecepatan angin}$$

$$\alpha = 0.0081 \text{ jika } X \text{ tidak diketahui}$$

$$\gamma = \text{parameter puncak dapat dicari dengan persamaan :}$$

$$\gamma = 5 \quad \text{for } T_p/\sqrt{H_s} \leq 3.6; \quad \text{and}$$

$$\gamma = \exp \left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \quad \text{for } T_p/\sqrt{H_s} > 3.6$$

dimana :

$$T_p = \text{periode puncak spektra } \left(\frac{2\pi}{\omega_0} \right)$$

$$H_s = \text{tinggi gelombang signifikan}$$

$$\tau = \text{parameter bentuk (untuk } \omega \leq \omega_0 = 0,07 \text{ dan } \omega \geq \omega_0 = 0,09)$$

$$\omega_0 = \text{frekuensi puncak gelombang } 2\pi \left(\frac{g}{U_w} \right) (X_0)^{-0.33}$$

2.2.3 Respon Gerak

Respon gerak struktur bangunan apung dapat dilihat dari RAO (Response Amplitude Operator). RAO selain merupakan fungsi transformasi, sekaligus dapat

merepresentasikan respon gerak pada gelombang reguler. Selain RAO, respon gerak pada gelombang acak dapat dilihat melalui spektra respon struktur.

2.2.3.1 RAO

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi transformasi gelombang menjadi respon gerakan struktur dalam rentang frekuensi tertentu. RAO juga dapat merepresentasikan rasio amplitudo struktur dengan amplitudo gelombang. RAO dapat digunakan untuk mengetahui respon struktur pada gelombang acak dengan cara mengalikan ordinat pada RAO dengan ordinat pada spektrum gelombang yang telah ditransformasi pada frekuensi pertemuan.

Menurut Chakrabarti (1987) RAO sendiri dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RAO = \frac{\zeta_{ko}}{\zeta_0} (m/m) \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.3.2 Respon Struktur

Respon struktur dapat diketahui melalui perkalian antara RAO kuadrat dengan spektrum gelombang. Spektrum respon dapat didefinisikan sebagai sebaran energi struktur akibat gelombang. Jika diformulasikan akan didapat persamaan :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m²-sec)

$RAO(\omega)$ = *transfer function*

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

Respon struktur dapat ditunjukkan dengan nilai parameter stokastik gerakan struktur pada gelombang acak. Parameter tersebut dapat berupa amplitudo gerak rata-rata, kecepatan, dan percepatan geraknya. Menurut Batthacarya, penentuan nilai stokastik pada bertujuan untuk mempermudah interpretasi respon struktur pada gelombang acak. Metode yang digunakan yaitu dengan menghitung luas di bawah kurva m_0 , m_2 , dan m_4 .

$$m_0 = \sum_{n=1}^{\infty} S_{\zeta}(\omega) \delta\omega = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} S_{\dot{\zeta}}(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} \omega^2 S_{r_{\zeta}}(\omega) d\omega \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} S_{\ddot{\zeta}}(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} \omega^4 S_{r_{\zeta}}(\omega) d\omega \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

m_0 merupakan luasan di bawah kurva spektra respon, sedangkan m_2 merupakan luasan dibawah kurva perkalian spektra respon dengan ω^2 . Terakhir adalah m_4 merupakan luasan di bawah kurva hasil dari perkalian spektra respon dengan ω^4 . Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan metode simpson (Bhattacharyya, 1978):

$$m_0 = 1/3 \times \Delta\omega \times \Sigma_0 \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$m_2 = 1/3 \times \Delta\omega \times \Sigma_2 \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$m_4 = 1/3 \times \Delta\omega \times \Sigma_4 \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

hasil dari m_2 merupakan parameter kecepatan gerak struktur pada gelombang acak, dan m_4 merupakan nilai percepatannya. Untuk amplitudo gerak rata-rata dapat diketahui melalui persamaan :

$$Z_{rata-rata} = 2,5 \sqrt{m_0} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

2.2.4 Tegangan Tali tambat

Gerakan pada bangunan apung dan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *tali tambat*. *Tension* yang terjadi dapat dibedakan menjadi :

1. *Mean Tension*

Mean *tension* adalah *tension* pada tali tambat yang berkaitan dengan mean offset pada bangunan apung.

2. *Maximum Tension*

Maximum tension adalah *mean tension* yang mendapat pengaruh dari jamak frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Menurut *API-RP2SK* (2005), *maximum tension force* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

1. $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots \dots \dots (2.11)$$

2. $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan:

$T_{mean} = \text{mean tension}$

$T_{max} = \text{maximum tension}$

$T_{wfmax} = \text{maximum wave frequency tension}$

$T_{wfsig} = \text{significant wave frequency tension}$

$T_{lfmax} = \text{maximum low-frequency tension}$

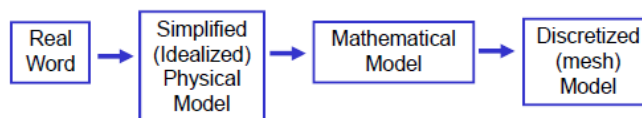
$T_{lfsig} = \text{significant low-frequency tension}$

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing tali tambat. *Tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rule*. Pada tugas akhir ini *rule* yang dipakai sebagai acuan adalah ABS. ABS (2004) telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* adalah:

$$Safety\ factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.2.5 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan sebuah metode numerik untuk menyelesaikan masalah pada bidang teknik ataupun fisika matematika dan Analisis Elemen Hingga ini sangat berguna untuk permasalahan dengan bentuk geometri yang sulit, segala jenis pembebanan dan jenis material dimana solusi analitis tidak dapat dilakukan. Solusi analitis bisanya dilakukan berdasarkan simplifikasi dan idealisasi dengan massa terkonsentrasi pada pusat titik berat dan penyederhanaan batang dengan segmen garis. Sedangkan untuk analisis elemen hingga dapat menghitung desain dengan geometri yang cukup kompleks selain itu juga memberikan hasil perhitungan struktur yang ideal dan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Tahapan awal dalam FEM adalah diskretisasi (*discretization*) dimana model yang memiliki diskontinuitas disederhanakan dalam bentuk bidang (*mesh*), skema ini dapat dipahami pada Gambar 2.6.

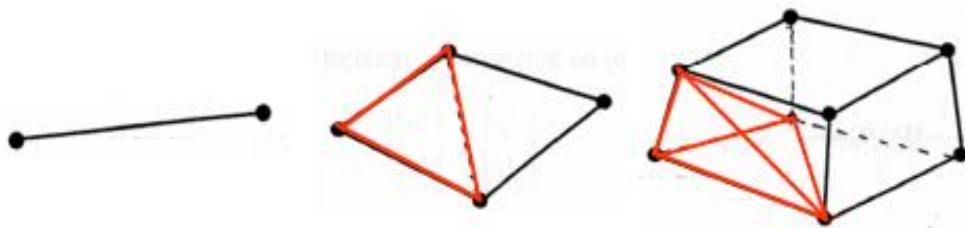


Gambar 2. 6 Skema diskret / mesh pada model geometri yang kompleks
(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Dalam elemen hingga terdapat 3 tipe penyederhanaan elemen yaitu:

1. Elemen garis (1-D) yaitu: pegas, truss, balok, pipa dan lain lain.
2. Elemen bidang (2-D) yaitu: membran, pelat, kulit dan lain lain.
3. Elemen Solid (3-D) meliputi beberapa bidang, yaitu: temperatur, displasemen, tegangan, arus dan kecepatan.

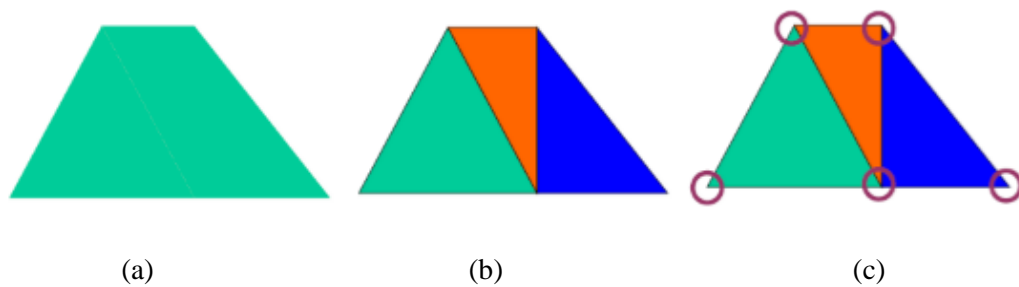
Ilustrasi penjelasan diatas dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Elemen garis (kiri), Elemen bidang (tengah), Elemen solid (kanan)

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

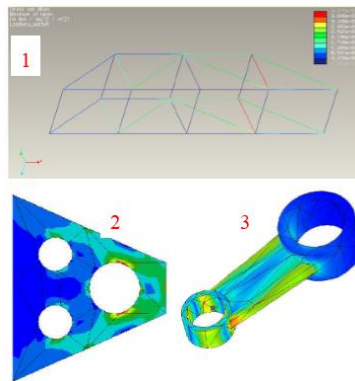
Dalam permodelan numerik metode elemen hingga suatu objek terdapat objek, elemen dan node dimana sebelum menyelesaikan masalah meggunakan elemen hingga perlu diketahui displasemen benda, tegangan dan regangannya yang nanti akan diekpresikan pada saat kondisi node memiliki jumlah nilai utama. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Objek (a), Elemen (b), node (c).

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Contoh analisis menggunakan Elemen Hingga pada pengaplikasiannya menggunakan *software* sebagaimana disebutkan diatas untuk elemen garis 1-D, elemen bidang 2-D dan elemen solid 3-D dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Elemen garis (1), Elemen bidang (2) dan Elemen solid (3).

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Tujuan dalam analisis elemen hingga adalah untuk mendapatkan solusi paling mendekati dengan permasalahan yang dibatasi oleh nilai yang ada pada bidang teknik. Prinsip yang perlu diperhatikan adalah permasalahan nilai batas atau yang biasa disebut masalah lapangan dimana domain atau wilayah yang sering mempresentasikan struktur fisik dan variabel lapangan bergantung pada ketertarikan kita terhadap suatu model untuk dianalisis dengan persamaan diferensial. Kondisi batas (*boundary condition*) adalah suatu nilai spesifik dari variabel yang ada dilapangan (atau variabel yang berhubungan) dengan kondisi yang ada sebenarnya di lapangan seperti apa.

Perlu diketahui pula terdapat 3 jenis tumpuan / perletakan yang biasa digunakan dalam suatu konstruksi yaitu:

- a. tumpuan sendi : dapat menerima gaya vertikal (F_y) dan horizontal (F_x) namun tidak dapat menerima momen (M), jika diberi beban momen maka akan berputar.
- b. tumpuan roll : dapat menerima gaya vertikal (F_y) tidak dapat menerima gaya horisontal (F_x) dan momen. Jika diberi gaya horisontal akan bergerak.
- c. tumpuan jepit : dapat menerima semua reaksi gaya vertikal (F_y), gaya horizontal (F_x) dan momen (M), dijepit dianggap tidak ada gerakan sama sekali.

Dalam proses *meshing* baik untuk 2 dimensi ataupun 3 dimensi, terdapat beberapa bentuk *cell* yang digunakan untuk analisis elemen hingga yaitu:

1. Dua dimensi (2-D)

- a. Segitiga (*Triangle*) : jenis bentuk sel ini terdiri dari 3 garis dan merupakan tipe yang paling sederhana dalam proses *meshing* dan pembuatannya mudah serta cepat.
- b. Persegi panjang (*Quadrilateral*) : Jenis bentuk ini terdiri dari 4 garis dan *mesh* jenis ini biasa digunakan pada bentuk yang terstruktur rapi.

2. Tiga dimensi (3-D)

- a. *Tetrahedron* : memiliki 4 vertiks, 6 garis dan disatukan dalam 4 sisi segitiga. Pada kebanyakan kasus untuk jenis ini dapat dilakukan secara otomatis
- b. *Pyramid* : memiliki 5 vertiks, 5 garis dan disatukan dalam 4 sisi segitiga dan satu sisi persegi. *Meshing* jenis ini paling efektif digunakan untuk transisi antara bentuk elemen persegi dan segitiga.
- c. *Triangular prism* : memiliki 6 vertiks, 9 garis dan disatukan dalam 2 sisi segitiga dan 3 sisi persegi panjang. Keuntungan dari jenis layer ini adalah dapat menyelesaikan struktur berlapis secara efisien
- d. *Hexahedron* : kubus topologi, memiliki 6 titik, 12 garis dan disatukan dalam 6 sisi persegi panjang, biasa disebut *hex* atau bata. Untuk jumlah elemen sel yang sama akurasi tertinggi terdapat pada bentuk sel ini.

2.2.6 Tegangan Aksial

Tegangan aksial adalah tegangan normal yang bekerja tegak lurus penampang struktur. Tegangan aksial dapat dihasilkan dari gaya tarik atau gaya tekan. Ilustrasi tegangan aksial dapat dilihat pada Gambar 2.10. Persamaan tegangan aksial adalah sebagai berikut (Popov, 1996) :

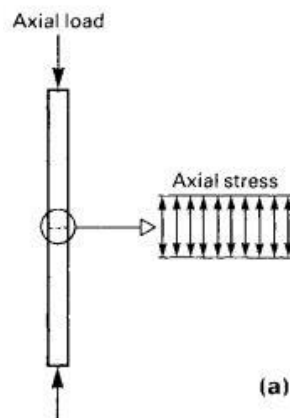
$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

F : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang (N)

A : luas penampang (m^2)

τ : tegangan aksial (Pa)



Gambar 2. 10 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial

2.2.7 Bending Stress

Bending *stress* atau tegangan lentur merupakan resultan dari momen luar dan momen dalam yang terjadi pada struktur. Ilustrasi *bending stress* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

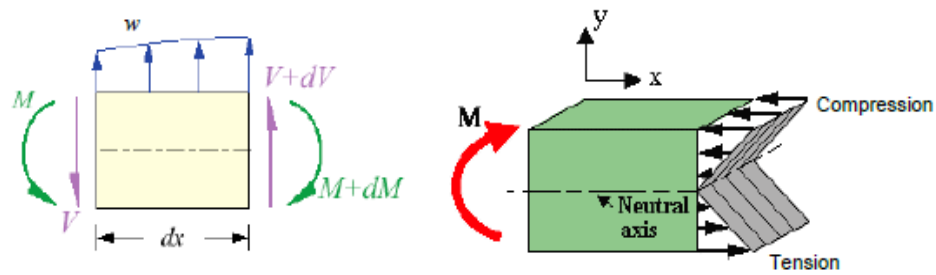
$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left(-\frac{y}{c} f_{\max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{\max}}{c} \int_A y^2 dA \dots\dots\dots(2.15)$$

$\int_A y^2 \cdot dA = I$ adalah momen inersia terhadap titik berat penampang. Jadi persamaan tegangan lentur menjadi:

$$M = -\frac{f_{\max}}{c} I \text{ atau } f_{\max} = -\frac{M c}{I} \dots\dots\dots(2.16)$$

Tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak y dari garis netral:

$$f = -\frac{M y}{I} \dots\dots\dots(2.17)$$



Gambar 2. 11 Bending stress pada suatu penampang

(Sumber: Ronney, 2014)

2.2. 8 Tegangan Von Misses

Pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (Ronney, 2014):

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan:

σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu (Pa)

σ_x = tegangan arah sumbu x (Pa)

σ_y = tegangan arah sumbu y (Pa)

σ_z = tegangan arah sumbu z (Pa)

σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy (Pa)

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz (Pa)

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz (Pa)

Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur didapatkan dari penggabungan tegangan yang terjadi pada masing-masing arah (Gambar 2.3). Persamaan tegangan gabungan dapat dinyatakan sebagai persamaan tegangan *Von Misses* :

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan:

σ_{eq} = tegangan ekuivalen (*von mises stress*) (Pa)

σ_x = tegangan normal sumbu *x* (Pa)

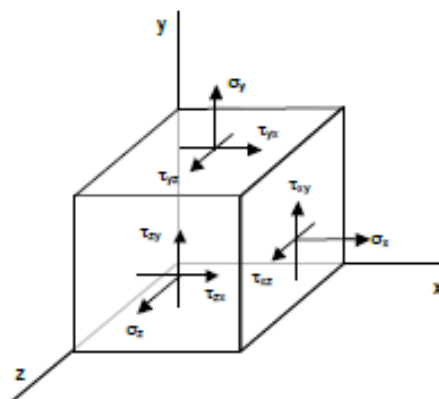
σ_y = tegangan normal sumbu *y* (Pa)

σ_z = tegangan normal sumbu *z* (Pa)

τ_{xy} = tegangan geser bidang *yz* (Pa)

τ_{yz} = tegangan geser bidang *zx* (Pa)

τ_{zx} = tegangan geser bidang *xy* (Pa)



Gambar 2. 12 *Von Misses stress* pada suatu penampang
(Sumber: Ronney 2014)

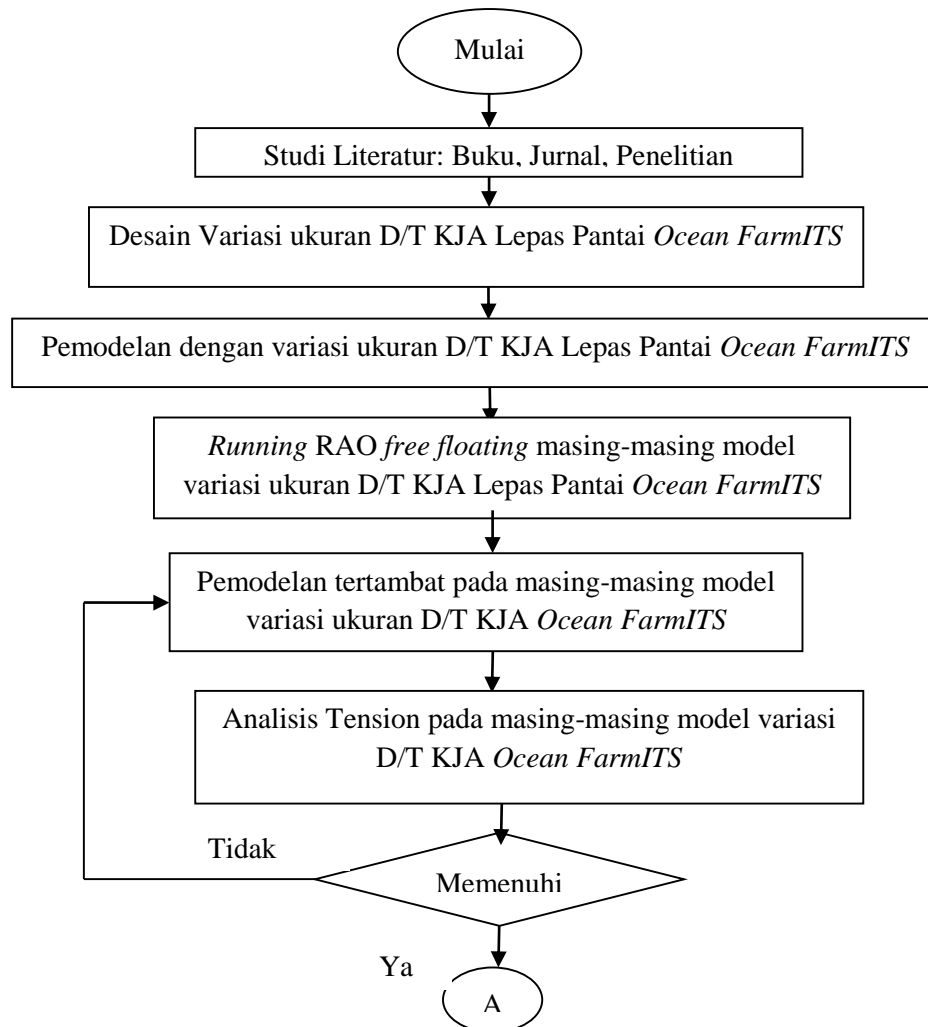
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

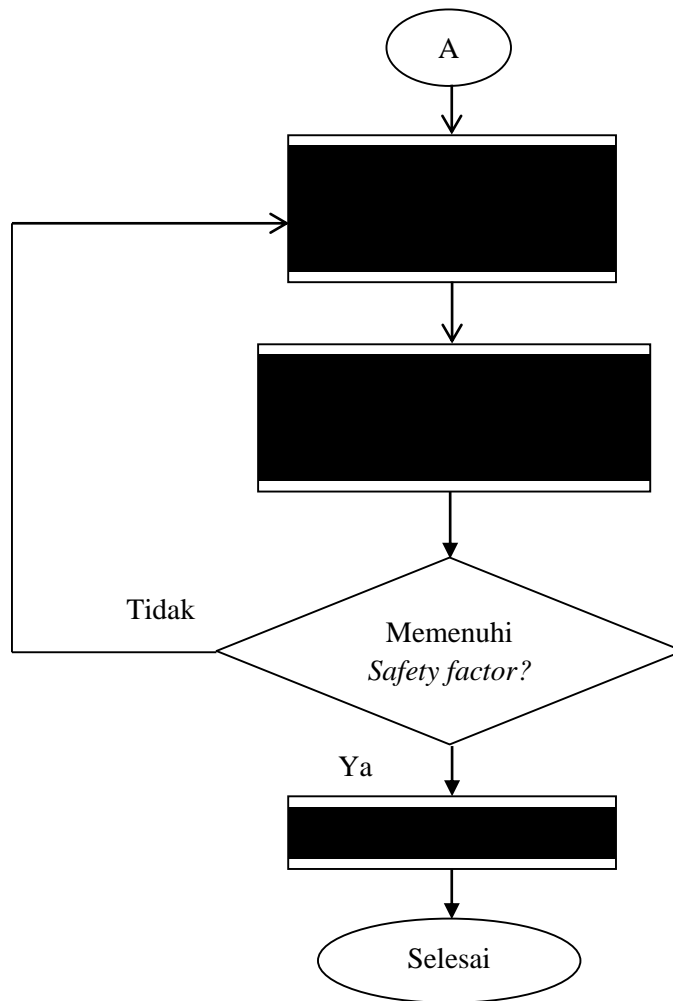
Dalam bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan Tesis ini. Serta diagram alir pengerjaan dalam analisis pengaruh variasi ukuran diameter dan kedalaman jaring KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* terhadap respon gerak, kekuatan tambat, hingga kekuatan statisnya.

3.1 Diagram alir

Diagram alir proses pengererjaan thesis ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Studi Parametrik Desain *Ocean FarmITS*



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan studi parametrik desain *Ocean FarmITS* (lanjutan)

3.2 Langkah pengerjaan

1. Studi literatur

Penelusuran literatur ditujukan untuk mendapatkan informasi tentang *Offshore Aquaculture*, serta mengetahui penelitian yang telah dilakukan mengenai *Offshore Aquaculture*. Studi literatur dari sumber yang digunakan adalah buku, materi perkuliahan, jurnal, penelitian sebelumnya termasuk tugas akhir terdahulu yang memiliki topik yang berkaitan.

2. Pengumpulan data struktur, dan data lingkungan.

Data struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* ini didapatkan dari beberapa literatur umum yang membahas tentang desain KJA kemudian disesuaikan dengan kondisi lingkungan di lokasi penelitian. Lokasi penelitian yaitu di perairan selatan Pulau Jawa. Data lingkungan berupa tinggi gelombang, periode gelombang, kecepatan angin, dan arus didapatkan dari hasil ekstraksi satelit. Pengamatan dilakukan pada pukul 06:00:00.000 dan 00:00:00.000 di Longitude 108,02 Latitude 78,8.

3. Pemodelan KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Pemodelan dilakukan pada seluruh bagian permukaan struktur KJA Pantai *Ocean FarmITS* kondisi terapung bebas. Dalam tahap ini pemodelan yang dilakukan hanya permukaan saja untuk analisis gerak pada gelombang reguler (RAO). Pemodelan dilakukan pada seluruh bagian KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* yang tercelup kecuali jaring. Untuk studi ini jaring tidak perlu dimodelkan karena untuk analisis tegangan tali tambat dan tegangan serta deformasi pada struktur berfokus pada struktur rangka pipanya saja, sehingga jaring tidak perlu dimodelkan. Hal ini sesuai dengan prosedur simulasi numerik pada struktur *floating Cage* yang telah dilakukan oleh Huang, et.al (2016). Pemodelan dibuat untuk tiga variasi, yaitu $D > T$, $D = T$, dan $D < T$.

4. Analisis Respon Gerak KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Analisis respon gerak diawali dengan analisis respon gerak pada gelombang reguler. Analisis respon gerak pada gelombang reguler dapat diinterpretasikan dari nilai RAO (*Response Amplitude Operator*). Pada analisis RAO diperlukan beberapa input, yaitu model permukaan bangunan apung, displasmen, jari-jari girasi, titik berat, dan arah pembebanan. RAO pada KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* diperlukan untuk menghitung respon gerak pada gelombang acak. Analisis respon gerak dilakukan untuk masing-masing variasi ukuran D dan T .

5. Analisis tegangan tali tambat

Pada tahap analisis tegangan tali tambat, dibutuhkan desain konfigurasi *mooring* dan data detail tali penambatnya. Dalam studi ini desain *mooring* Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dilakukan dengan konfigurasi *mooring linear array* yang mengacu WAS *Aquaculture* seperti pada Gambar 1.6. Desain detail tali tambat didapatkan dari katalog FAO “*Aquaculture Operation in Floating HFPE Cage*” konfigurasi *catenary mooring*. Pemodelan sistem tambat tunggal atau tunggal dilakukan pada masing-masing model dengan variasi D dan T, sedangkan pemodelan sistem tambat jamak dilakukan setelah pemilihan variasi ukuran D/T yang optimum. Analisis tegangan pada tali tambat dilakukan dengan time domain selama 3 jam. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum pada tali tambat, serta memeriksa kekuatannya sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada DNVGL OS E301.

6. Analisis kekuatan statis struktur

Analisis kekuatan statis pada struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* menggunakan pendekatan *Finite Element Method* (FEM). Sehingga perlu dibuat pemodelan detail struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*. Data detail material juga diinputkan dalam pemodelan pada tahap ini. Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* menggunakan material HDPE. Pemodelan struktur dilakukan secara lokal pada lokasi struktur yang terkena gaya paling besar. Dalam perhitungan FEM diperlukan nodal-nodal sehingga perlu dilakukan meshing pada model. Setelah itu dilakukan *meshing sensitivity* untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum yang tepat.

8. Pengambilan kesimpulan dari hasil penelitian.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Lingkungan

Data lingkungan pada Tabel 3.1 merupakan hasil olahan dari citra satelit pada lokasi perairan selatan Pulau Jawa tepatnya pada koordinat Longitude 108,02 Latitude 7,88 dengan kedalaman perairan 102 m. Data lingkungan berupa tinggi gelombang, periode gelombang, dan kecepatan angin, didapatkan dari hasil ekstraksi satelit ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Pengamatan dilakukan pada pukul 06:00:00.000 dan 00:00:00.000. Data kedalaman didapatkan dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*). Sedangkan untuk kecepatan arus didapatkan dari OSCAR (*Ocean Surface Current Analyses Real-time*).

Tabel 3. 1 Data lingkungan perairan selatan Pulau Jawa

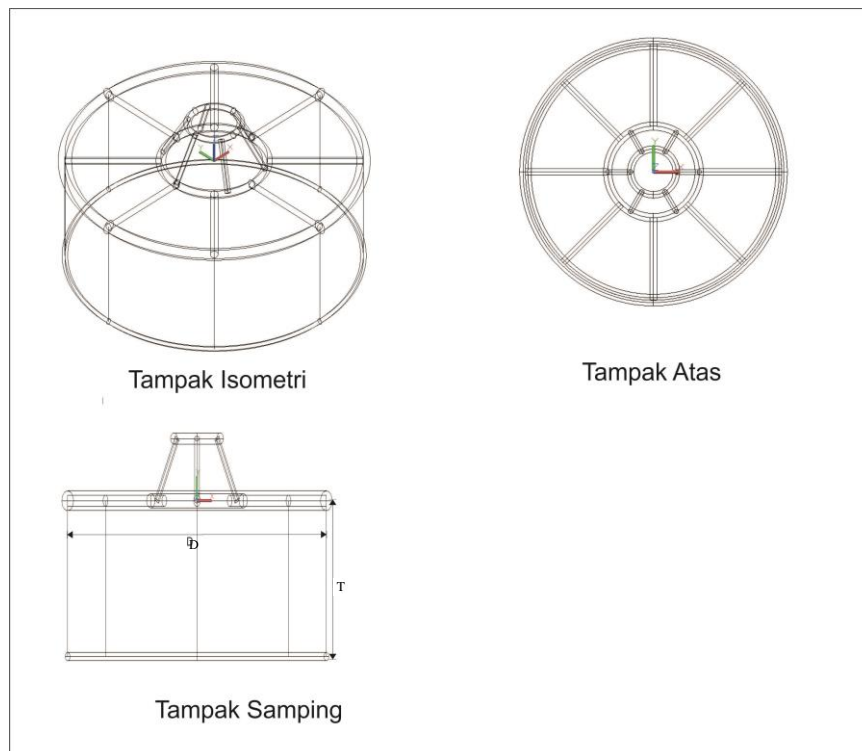
Parameter		Unit	100 ± Tahunan
Gelombang	Tinggi (Hs)	m	4,03
	Periode (Ts)	s	11,61
Angin	Kecepatan (Vw)	m/s	4,5
Arus	Kecepatan (Vc)	m/s	0,3

3.3.2 Data Struktur

Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dirancang untuk volume kandang 6160 m³. Untuk desain awal menggunakan dimensi D=T yaitu 9,8 m seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Detail ukuran struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* terdapat pada Tabel 3.2. Data pada Tabel 3.2 mengacu pada referensi “*Aquaculture for Floating HDPE Cage*” (FAO, 2015). Material yang dipakai pada KJA lepas pantai ini yaitu HDPE PE 100 dengan *yield strength* 26Mpa.

Tabel 3. 2 Data dimensi awal struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai Ocean FarmITS

Dimensi Struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai <i>Ocean FarmITS</i>				
Bagian	Diameter Silinder	Ketebalan	Jumlah	Panjang
Tubular Utama	0,4 m	0,02 m	2	62,2 m
Frame Vertikal	0,2 m	0,01 m	8	19,8 m
Frame Horizontal	0,2 m	0,01 m	8	4,95 m
Slinder Atas 1	0,2 m	0,01 m	1	31,1 m
Slinder Atas 2	0,2 m	0,01 m	1	15,5 m
Frame Miring	0,2 m	0,01 m	6	6 m



Gambar 3. 2 Drawing Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Data lain pendukung struktur Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* yang juga berkontribusi terhadap analisa antara lain kapasitas pakan ikan, berat *live load* dan berat jarring. Berat dari tiap elemen tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Beban lain yang memberikan beban terhadap struktur

Kapasitas pakan ikan	2 ton
Live load pekerjaan maintenance	0.2 ton
Berat Netting	1.4 ton

Dalam analisa kekuatan struktur dibutuhkan data material yang digunakan. Dalam penelitian ini, material yang digunakan pada Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* yaitu HDPE PE 100. HDPE grade PE 100 memiliki batas plastis 10N/mm^2 atau 10 Mpa (Cardia dan Lovatelli, 2015).

3.3.3 Data Tali Tambat

Tali tambat pada Keramba Jaring Apung Lepas Pantai *Ocean FarmITS* menggunakan tipe nilon SN81-120220-DY. Properti tali tambat mengacu pada katalog dari MORDEC '*Syntetic Ropes*'. Sehingga didapatkan properti tali nilon SN81-120220-DY yang tertera pada Tabel 3.4 di bawah ini :

Tabel 3. 4 Data Properti Tali Tambat

Tipe Tali Tambat	<i>Nylon Rope</i>
Diameter Tali	120 mm
Berat	8,87 kg/m
<i>Minimum Breaking Load</i>	2501500 N
<i>Stffness</i>	22602240 N
Equivalent Cross Section	$0,001338\text{ m}^2$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

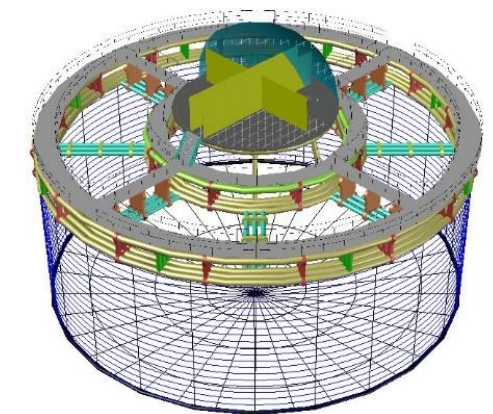
HASIL DAN ANALISIS

4.1 Desain KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

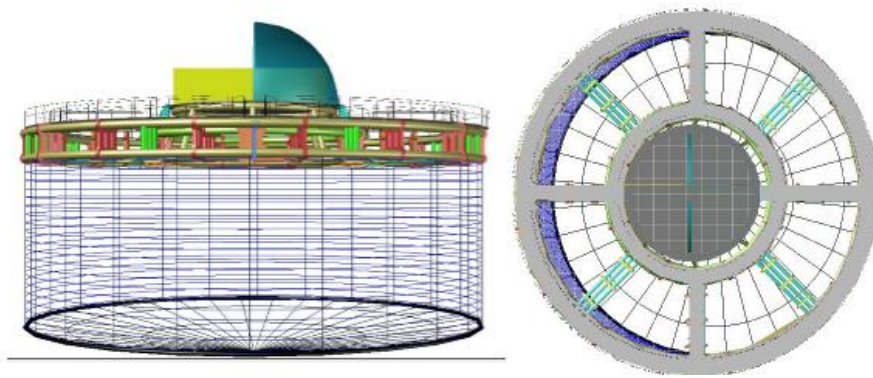
KJA (keramba jaring apung) lepas pantai *Ocean FarmITS* merupakan keramba jaring apung pertama di Indonesia yang dioperasikan di lepas pantai dengan menggabungkan budidaya ikan dan hotel terapung. KJA ini dirancang oleh Pusat Studi Kelautan LPPM ITS. Bentuk struktur keramba jaring apung tipe *semisubmersible* Bagian struktur yang tercelup berfungsi sebagai peredam sehingga gerakan struktur kecil dan nyaman untuk disinggahi.

Keramba jaring apung dilengkapi dengan sistem dan fasilitas keselamatan berupa sekoci karet dan *lifebuoy*. Fasilitas ini dapat digunakan sewaktu-waktu ketika kondisi darurat. Hotel terapung dilengkapi dengan solar panel sebagai sumber energi bersih. Hotel terapung berbentuk *dome* (setengah lingkaran) sehingga tampak artistik dan dapat mengurangi gaya angin.

KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* dirancang untuk budidaya ikan tuna pelagis dan sejenisnya dengan ukuran diameter 28m, sarat air 11,75m, dan volume kandang 6160 m³. Menurut data dari FAO, ukuran kandang tersebut dapat menampung 40 ekor ikan tuna dengan panjang 300-400cm, atau 348 ekor ikan tuna berukuran 180-240 cm. Model KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Model *Ocean FarmITS* tampak Isometri (Sumber: Athoillah, 2017)



Gambar 4. 2 Model *Ocean FarmITS* Tampak Samping dan Atas
(Sumber: Athoillah, 2017)

4.2 Desain Variasi Parameter

Dalam penelitian studi parametrik ini penulis melakukan simplifikasi dari beberapa parameter yang berpengaruh pada respon gerak dan kekuatan pada struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*.

KJA Lepas Pantai layaknya bangunan apung lainnya dapat mengalami gerakan translasi dan rotasi ketika terkena gelombang (Bhattacharya, 1978). Gerakan translasi yaitu:

- Surge (translasi arah x)
- Sway (translasi arah y)
- Heave (translasi arah z)

Sedangkan gerakan rotasi :

- Roll (rotasi arah x)
- Pitch (rotasi arah y)
- Yaw (rotasi arah z)

Stabilitas motion atau gerakan yang terjadi pada floating cage dapat ditinjau dari besarnya amplitudo gerakan tersebut. Ada beberapa variabel yang berpengaruh terhadap gerakan floating structure pada yaitu : amplitudo gelombang, jari-jari girasi struktur, ukuran dan bentuk geometri, displasmen atau berat struktur yang tercelup, dan titik beratnya. Bentuk geometri mempengaruhi luas permukaan yang

tercelup, sehingga dapat berpengaruh terhadap massa tambahannya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Variabel yang Mempengaruhi Gerakan KJA Lepas Pantai

No	Variabel	Keterangan	Satuan	Dimensi
1.	ζ_o	Amplitudo Gerakan Struktur	m	L
2.	ζ_w	Amplitudo Gelombang	m	L
3.	KB	Titik Berat <i>Buoyancy</i>	m	L
4.	KG	Titik Berat Gravity	m	L
5.	m	Berat Total Struktur	ton	M
6.	Maz	Massa Tambah	ton	M
7.	ω	Frekuensi Gelombang	rad/s	-
8.	∇	Volume Displasmen	m ³	L ³
9.	ρ	Density Water	ton/m ³	M/L ³
10.	g	Percepatan Gravitasi	m/s ²	L/T ²
11.	D	Diamater Kandang	m	L
12.	T	Kedalaman Jaring	m	L

4.2.1 Analisis Dimensi

Analisis dimensi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode matriks. Dari variabel yang diketahui pada Tabel 4.1, dipilih 3 *repeating variable*. *Repeating variable* atau variabel berulang yang dipilih harus dapat mewakili seluruh variabel. Variabel yang dipilih sebagai variabel berulang yaitu : ζ_o (amplitudo gerakan) [L],

ρ (*density water*) $[M/L^3]$, dan g (percepatan gravitasi) $[L/T^2]$. Fungsi diatas terdiri dari 10 variabel, dengan 3 satuan dasar yaitu L, T, M. Sehingga jumlah parameternya menjadi $12 - 3 = 9$.

Setelah memilih variabel berulang, kemudian disusun seperti matriks dibawah :

Matriks A =

$$\begin{matrix} & Z_o & \rho & g \\ \begin{matrix} L \\ T \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & -3 & 1 \\ 0 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \dots\dots\dots(4.1)$$

Sedangkan variabel sisanya disusun dalam matriks B.

Matriks B =

$$\begin{matrix} KG & KB & m & \nabla & D & T & Maz & \omega & \zeta_w \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \dots\dots\dots(4.2)$$

Penyelesaiannya yaitu invers matriks A dikalikan dengan matriks B atau $[A]^{-1} \times [B]$.

Sehingga matriksnya menjadi:

$$\begin{matrix} KG & KB & m & \nabla & D & T & Maz & \omega & Z_w \\ \begin{bmatrix} \zeta_o & 1 & 0,5 & 3 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 1 & 3 & -0,5 & 1 \\ r & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ g & 0 & -0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \dots\dots(4.3)$$

Kemudian disusun menjadi parameter tak berdimensi seperti berikut :

$$\phi\left[\frac{\zeta_w}{\zeta_o}, \frac{\omega}{\zeta_o^{-1/2}g^{1/2}}, \frac{Maz}{\zeta_o^3\rho}, \frac{D}{\zeta_o}, \frac{T}{\zeta_o}, \frac{\nabla}{\zeta_o^3}, \frac{m}{\zeta_o^3\rho}, \frac{KB}{\zeta_o}, \frac{KG}{\zeta_o}\right] = 0$$

Setelah didapatkan 9 parameter, maka dilakukan *compounding*. Tujuan dilakukan *compounding* adalah untuk mengetahui beberapa parameter yang sudah ada namanya. Hasilnya sebagai berikut :

$$\frac{\zeta_o}{\zeta_w} = \phi\left[\frac{D}{T}, \frac{KB}{KG}, \frac{\omega\sqrt{\zeta_o}}{\sqrt{g}}, \frac{Maz}{\zeta_o^3\rho}, \frac{T}{\zeta_o}, \frac{\nabla}{\zeta_o^3}, \frac{m}{\zeta_o^3\rho}, \frac{KG}{\zeta_o}\right] = 0 \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

Keterangan :

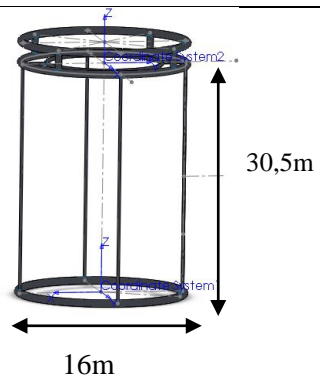
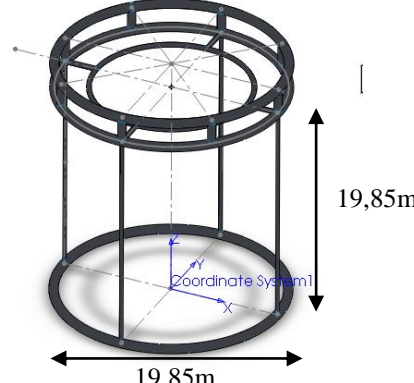
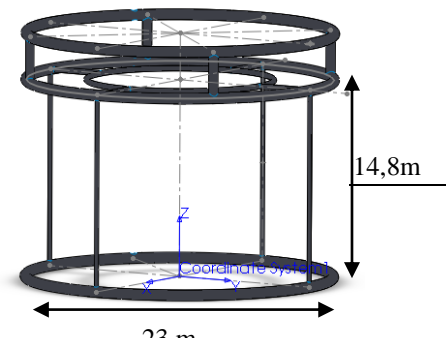
$\frac{\zeta_o}{\zeta_w}$: *RAO (Response Amplitude Operator)*

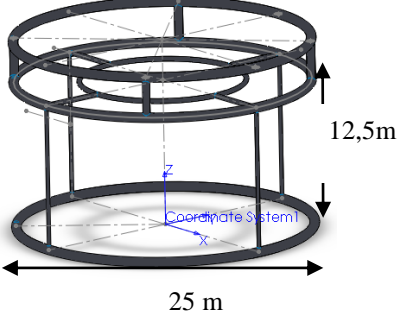
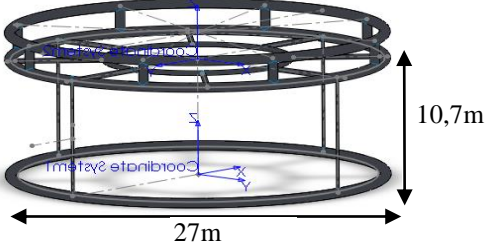
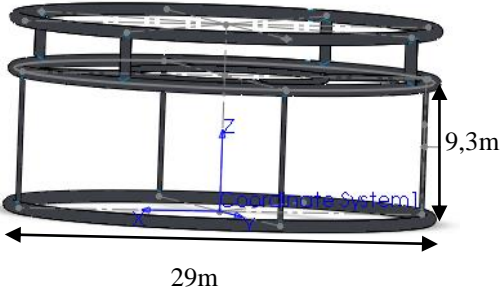
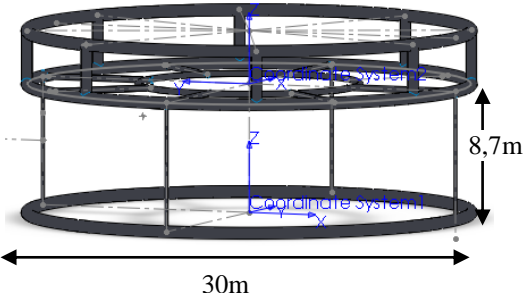
Berdasarkan persamaan 4.5 diatas didapatkan 9 parameter tak berdimensi yang berpengaruh terhadap RAO. Dari 9 parameter diatas yang dipilih untuk divariasikan yaitu parameter D/T karena parameter ini merupakan dimensi dasar struktur sehingga mudah untuk divariasikan. Parameter D/T juga merupakan parameter yang dapat mewakili parameter yang lain, karena parameter $\frac{KB}{KG}, \frac{Maz}{\zeta_o^3\rho}, \frac{T}{\zeta_o}, \frac{\nabla}{\zeta_o^3}, \frac{m}{\zeta_o^3\rho}$ bergantung pada parameter D/T. Sedangkan untuk parameter $\frac{\omega\sqrt{\zeta_o}}{\sqrt{g}}$ dan $\frac{KG}{\zeta_o}$ tidak dipilih karena sulit untuk divariasikan.

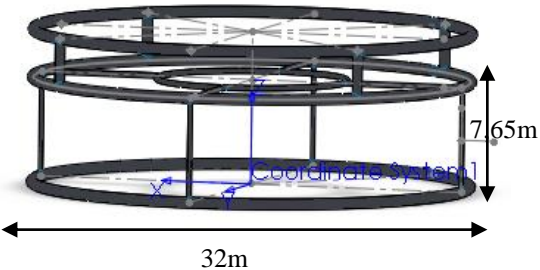
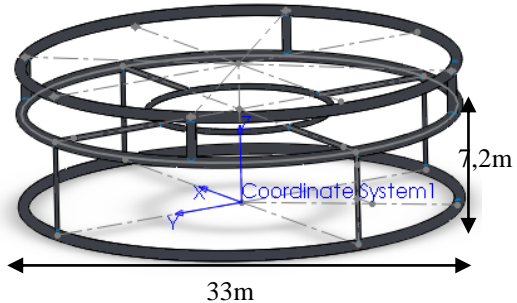
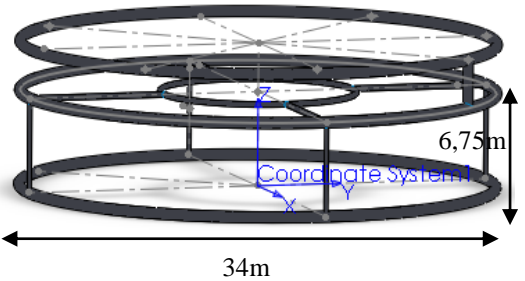
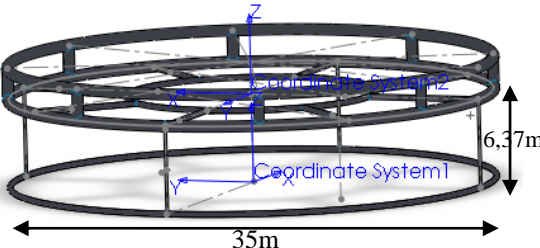
4.2.2 Pemodelan Variasi Parameter D/T pada Struktur KJA Lepas Pantai Ocean FarmITS

Variasi parameter D/T untuk studi parametrik ini dilakukan dalam batasan volume kandang 6160 m³. Nilai D/T dimulai dari 0,5 hingga 5,5. Hal ini menyesuaikan dengan lebar diameter dan kedalaman jaring yang direkomendasikan oleh FAO untuk budidaya ikan tuna pelagis. Pada Tabel 4.2 disajikan variasi ukuran D dan T untuk volume kandang 6160 m³. Variasi yang dilakukan sebanyak 11 kali, sehingga pemodelan struktur dilakukan sebanyak 11 kali. Hal ini dilakukan agar didapatkan data yang cukup untuk pembuatan model matematisnya.

Tabel 4. 2 Desain Variasi Ukuran D/T

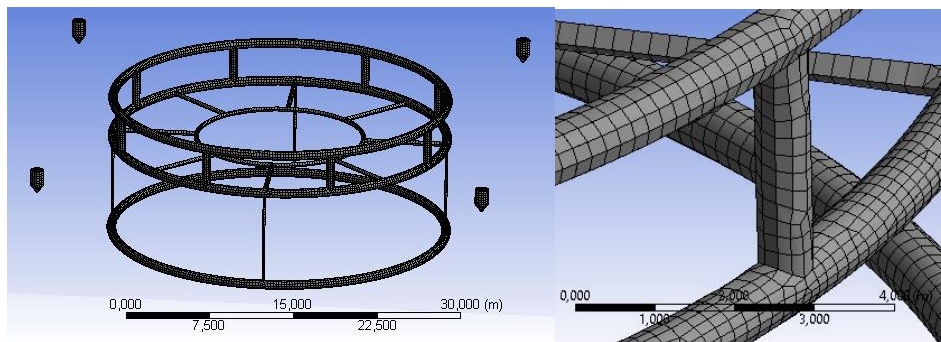
No.	D/T	D(m)	T(m)	V(m ³)	Model
1.	0,5	16	30,5	6132	
2.	1	19,85	19,85	6142	
3.	1,5	23	14,8	6149	

No.	D/T	D(m)	T(m)	V(m ³)	Model
4.	2	25	12,5	6135	
5.	2,5	27	10,7	6126	
6.	3	29	9,3	6142	
7.	3,5	30	8,7	6142	

No.	D/T	D(m)	T(m)	V(m3)	Model
8.	4	32	7,65	6152	
9.	4,5	33	7,2	6158	
10.	5	34	6,75	6128	
11.	5,5	35	6,37	6128	

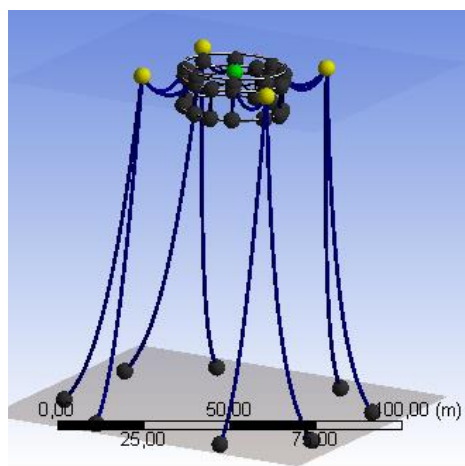
7,2m

Pada analisis global untuk mendapatkan respon gerak, analisis dilakukan dengan menggunakan teori gelombang difraksi tiga dimensi. Pada teori ini struktur dibagi menjadi elemen-elemen seperti mesh pada metode elemen hingga. Ukuran elemen maksimum dihitung berdasarkan frekuensi gelombang maksimum yang dapat digunakan dalam analisis difraksi. Dalam kasus ini frekuensi gelombang maksimum diatur pada 2,5rad/s kemudian pembagian elemen otomatis dilakukan. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat hasil pembagian elemen pada teori difraksi ini menyerupai bentuk quadrilateral pada metode elemen hingga dengan bentuk pemodelan surface yang menyerupai elemen *shell*.



Gambar 4. 3 Meshing pada Struktur KJA Ocean FarmITS

Pemodelan dilakukan pada kondisi terapung bebas dan tertambat. Pemodelan pada kondisi tertambat dilakukan dengan memodelkan tali yang tertambat pada *buoy*, kemudian tali pada *buoy* ditambatkan pada fix anchor dapat dilihat pada Gambar 4.4. Ukuran *buoy* didapatkan dari katalog “*Polyform-Buoys, Fenders and Floats*”.

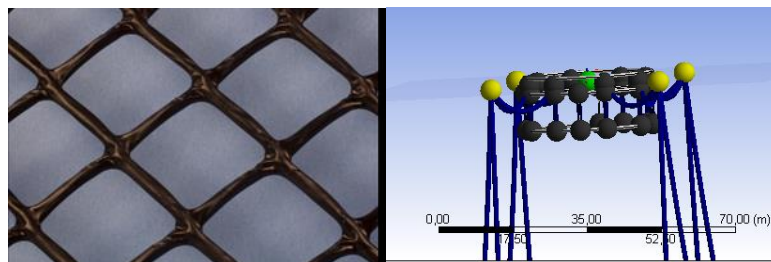


Gambar 4. 4 Pemodelan Kondisi Tertambat pada KJA Ocean FarmITS.

Pada kasus ini jangkar dianggap fix pada seabed. Tali tambat dimodelkan dengan bentuk *non linear catenary cable*. Jenis tali *mooring* yang digunakan adalah nylon SN81-120220-DY dengan spesifikasi:

Mass/Unit Length	: 8,87 kg/m
Equivalent Cross Section	: 0,001338 m ²
Stiffness, EA	: 22602240 N
Minimum Breaking Load	: 2501500 N
Equivalent Diameter	: 120 mm

Analisis pada masing-masing kabel ini menggunakan analisis dinamis dengan akibat pengaruh dari gerakan struktur KJA Lepas Pantai Ocean Farm ITS. Kabel dibagi menjadi beberapa elemen untuk melakukan analisis dinamis ini sehingga dapat menghasilkan tegangan maksimum.



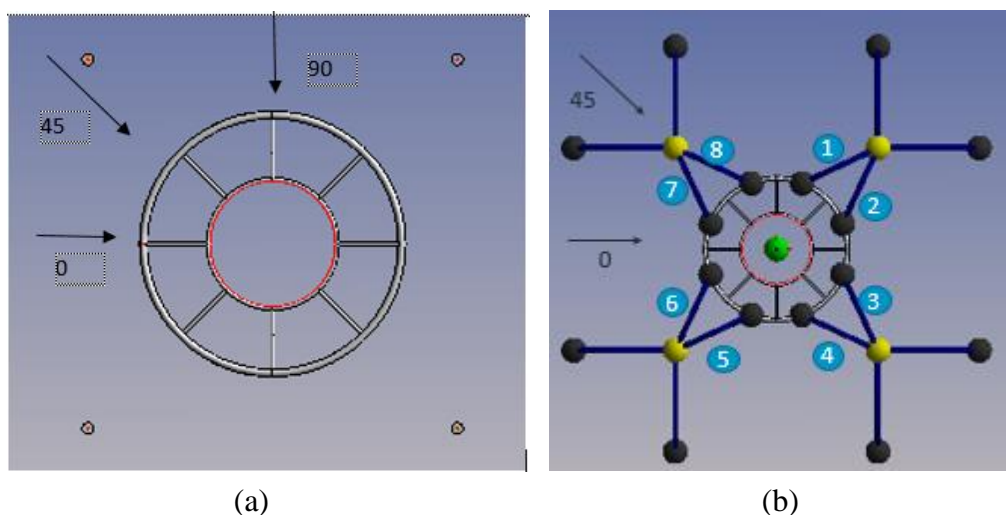
Gambar 4. 5 Pemodelan Jaring dengan Penyederhanaan

Pemodelan jaring dilakukan dengan memodelkan sebagai tali dengan kekakuan yang sangat kecil atau sangat lentur menggunakan *non linear catenary cable*. Berat total jaring pada desain KJA lepas pantai ini adalah 1,447 ton menggunakan material PET (Polyethylene terephthalate). Menurut data pengujian material dari (Suryanto,2005) jaring PET memiliki kekakuan sebesar 233 N/m. Volume total jaring sebesar 103m³, sehingga ekuivalen dengan model tali berdiameter 0,61m berjumlah 10 tali seperti pada Gambar 4.5. Panjang tali sesuai dengan kedalaman jaring pada masing-masing ukuran KJA. Beban yang bekerja pada jaring adalah sama dengan beban yang dialami struktur secara global, yaitu *selfweight*, dan beban lingkungan (angin, arus, dan gelombang).

4.3 Respon Gerak KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Respon gerak KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* dapat dianalisis melalui respon gerak pada gelombang reguler dan gelombang acak atau di lingkungan yang sesungguhnya. Respon gerak pada gelombang reguler dapat diinterpretasikan melalui simulasi RAO. Analisis RAO (*Response Amplitude Operator*) dilakukan pada semua variasi model untuk mengetahui respon gerak struktur pada gelombang reguler. Analisis ini dilakukan dengan simulasi *frequency domain*. Selain untuk mengetahui besarnya gerakan struktur, analisis ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural pada struktur. Dengan mengetahui frekuensi natural pada struktur, resonansi dapat dihindari dengan cara membuat desain struktur agar frekuensi naturalnya menjauhi frekuensi natural gelombang.

Analisis RAO dilakukan dalam beberapa kondisi, yaitu kondisi arah pembebanan (heading), kondisi terapung bebas, dan kondisi tertambat. Pada Gambar 4.6a merupakan kondisi pembebanan kondisi terapung bebas. Sedangkan pada Gambar 4.6b merupakan kondisi pembebanan saat kondisi tertambat. Terlihat pada kedua gambar (Gambar 4.6a dan Gambar 4.6b) terdapat anak panah yang menunjukkan arah sudut datangnya gelombang atau beban lingkungan, yaitu pada arah 0^0 dan 45^0 .



Gambar 4. 6 Arah Pembebanan pada Struktur *Ocean FarmITS*

Analisis RAO dilakukan pada 2 kondisi pembebanan, yaitu arah 0^0 dan 45^0 seperti pada Gambar 4.6. Bentuk struktur seperti pada Gambar 4.6 ini, analisis pembebanan harus dilakukan dari arah horizontal dan diagonal. Berikut merupakan hasil dari analisis RAO dengan variasi parameter D/T.

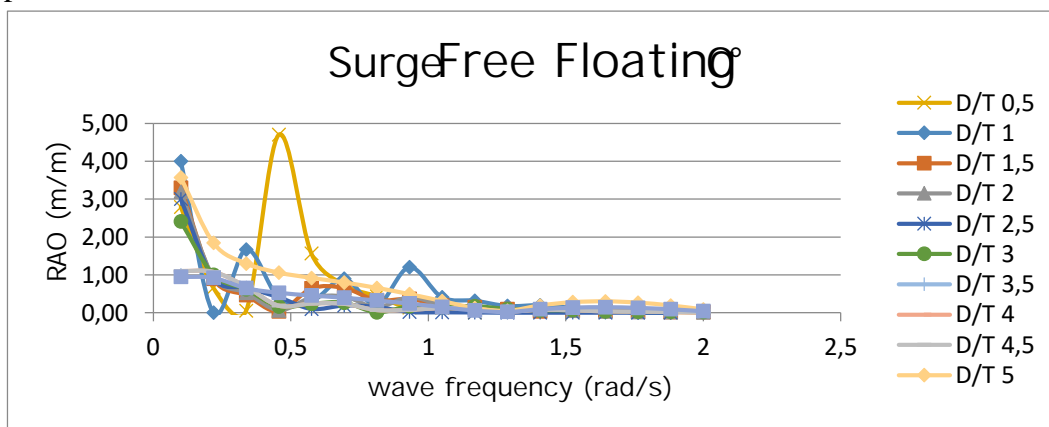
4.3.1 RAO Gerakan Translasi

4.3.1.1 Kondisi Pembebanan 0^0

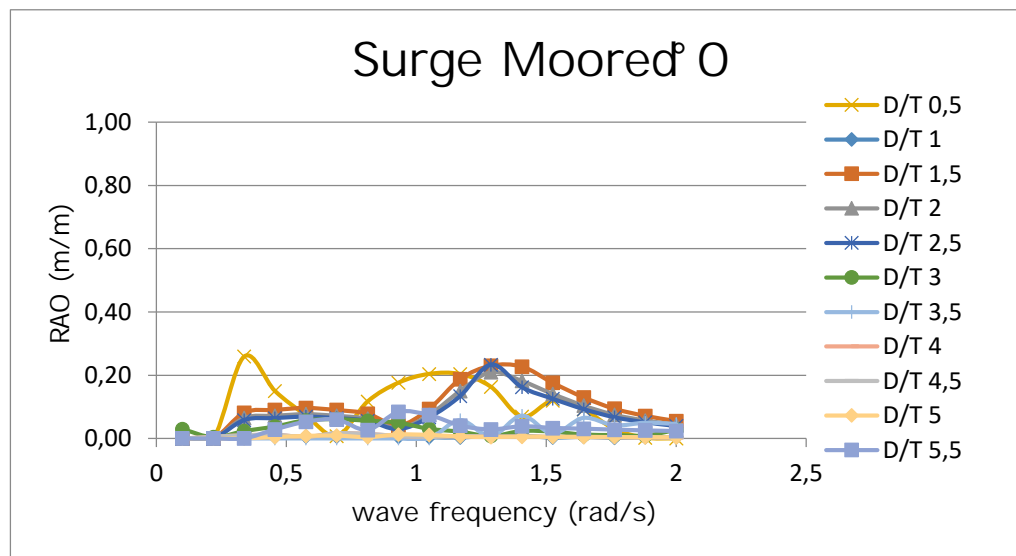
Struktur KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* mengalami gerakan translasi Surge, Sway, dan Heave. Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan RAO gerakan surge dari arah pembebanan 0^0 . Gambar 4.7 terjadi pada kondisi KJA terapung bebas, sedangkan pada Gambar 4.8 terjadi pada kondisi KJA tertambat.

Jika ditinjau dari frekuensi naturalnya, KJA lepas pantai pada gerakan surge 0^0 kondisi terapung bebas dan kondisi tertambat mengalami pergeseran. Pada kondisi terapung bebas KJA lepas pantai rata-rata memiliki frekuensi natural pada 0,1 hingga 0,5 rad/s. Sedangkan pada kondisi tertambat KJA lepas pantai rata-rata terletak pada frekuensi 1,3 rad/s.

Jika ditinjau dari besar respon gerakannya, KJA lepas pantai pada kondisi terapung bebas mengalami penurunan yang cukup besar ketika ditambah. Gerakan surge maksimum sebesar 4,5 m/m terjadi pada D/T 0,5. Sedangkan untuk D/T 1 hingga D/T 5,5 gerakan surge maksimum semakin rendah. Gerakan surge maksimum terendah sebesar 0,96 m/m pada D/T 5,5. Sedangkan pada kondisi tertambat gerakan surge mampu tereduksi hingga mencapai 0,25 pada D/T 0,5. Kemudian untuk D/T 1 hingga D/T 5,5 gerakan surge kondisi tertambat terus mengalami penurunan.



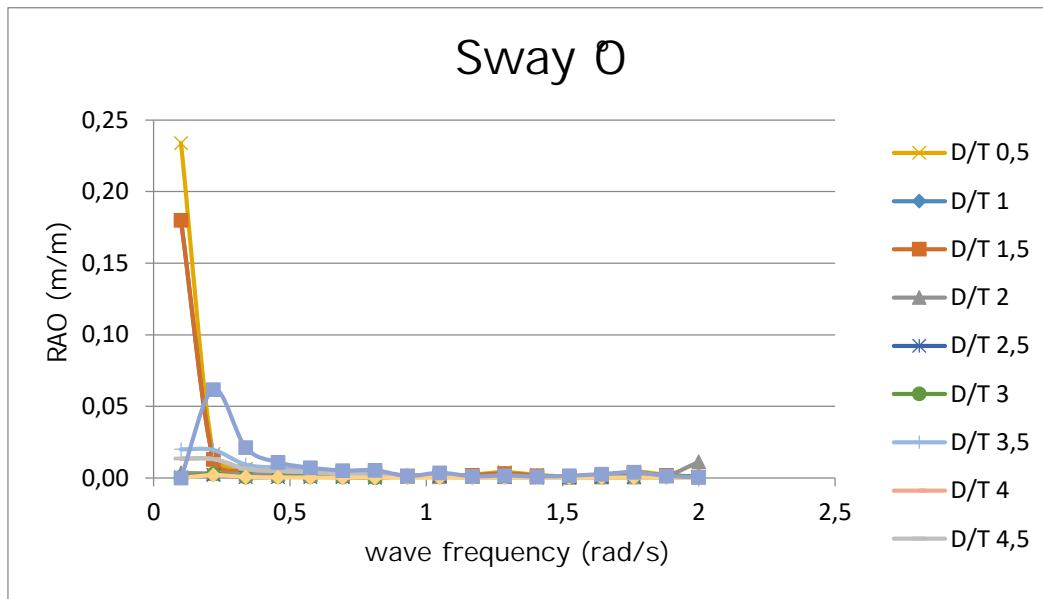
Gambar 4. 7 RAO Gerakan Surge arah 0^0 Terapung Bebas



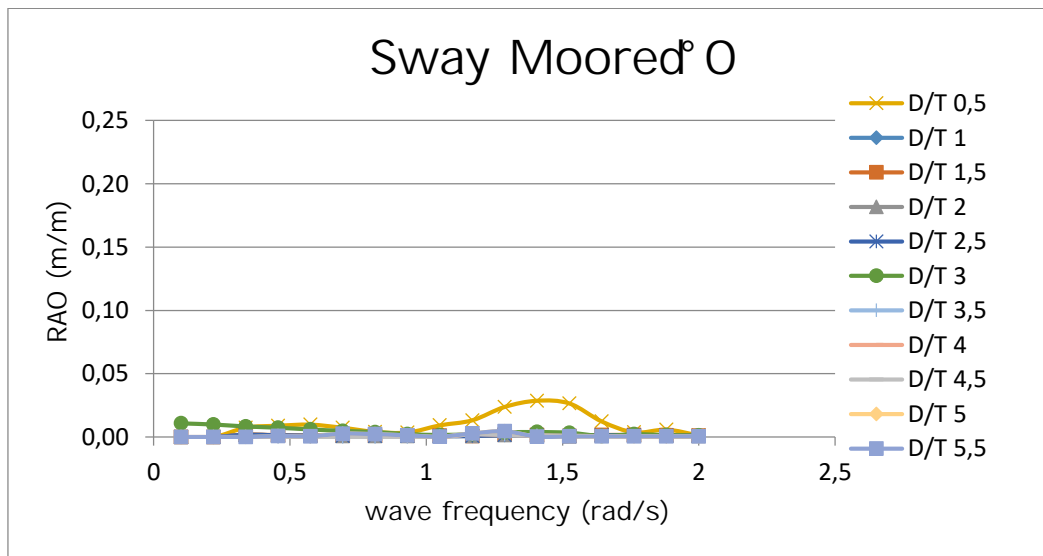
Gambar 4. 8 RAO Gerakan Surge arah 0^0 Tertambat

Gerakan translasi Sway juga dialami oleh KJA lepas pantai akibat arah pembebanan 0^0 . Pada Gambar 4.9 merupakan RAO sway pada kondisi terapung bebas. Sedangkan pada Gambar 4.10 merupakan RAO Sway pada kondisi tertambat. Pada kondisi terapung bebas gerakan sway tertinggi tidak sampai 0,25 m/m. Pada kondisi tertambat gerakan sway tertinggi pada desain KJA hanya mencapai 0,03 m/m. Hal ini terjadi karena pada arah pembebanan 0^0 , struktur terdorong untuk bergerak ke arah sumbu x, sehingga gerakan ke arah sumbu y kecil.

Frekuensi natural dari KJA lepas pantai untuk gerakan sway pada kondisi terapung bebas dan tertambat juga mengalami pergeseran. Pada kondisi terapung bebas, frekuensi natural masing-masing D/T berada pada 0,1 rad/s. Sedangkan pada kondisi tertambat bergeser ke 1,4 rad/s. Hal ini identik dengan frekuensi natural ketika gerakan surge pada Gambar 4.7 dan 4.8.



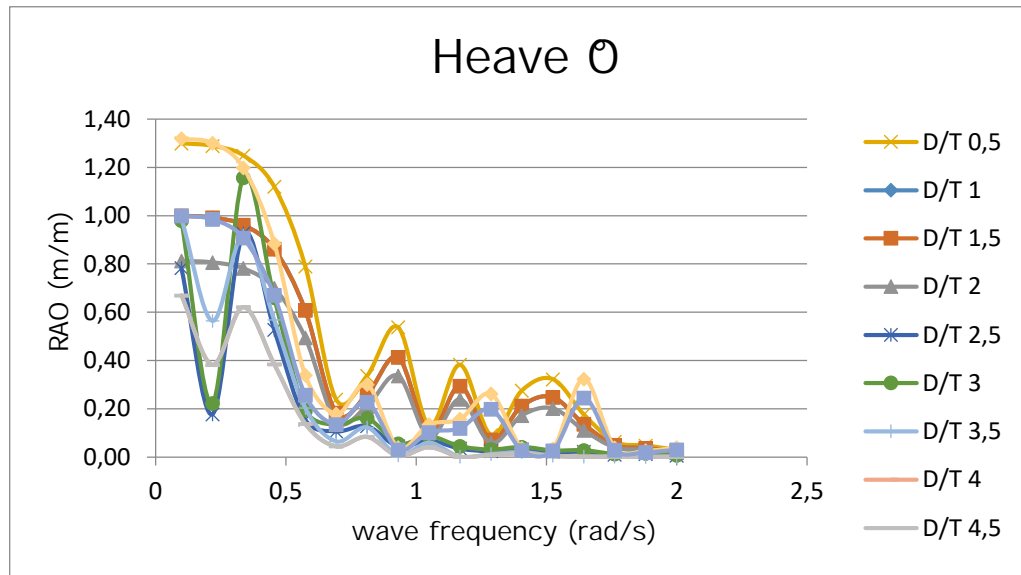
Gambar 4. 9 RAO Gerakan Sway arah 0^0 Terapung Bebas



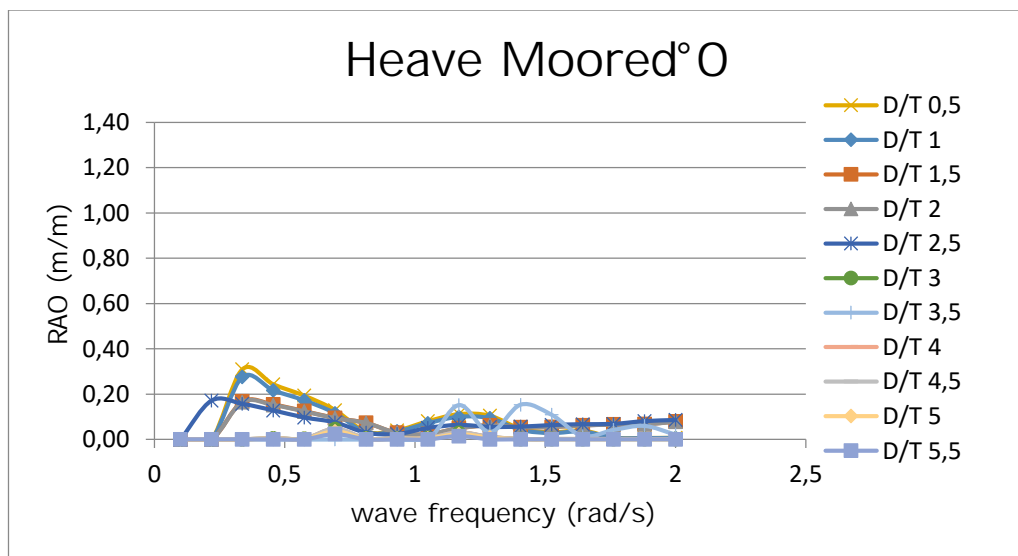
Gambar 4. 10 RAO Gerakan Sway arah 0^0 Tertambat

Seperti bangunan apung pada umumnya, KJA lepas pantai juga mengalami gerakan translasi heave pada kondisi pembebanan 0^0 . Gambar 4.11 merupakan RAO heave pada kondisi terapung bebas, sedangkan pada kondisi tertambat tertera pada Gambar 4.12. Pada kondisi terapung bebas konfigurasi tali tambat efektif untuk mengurangi gerakan heave dari yang tertinggi sebesar 1,3 m/m menjadi 0,31m/m. Namun jika ditinjau dari segi frekuensi natural, struktur KJA tidak mengalami

pergeseran frekuensi natural meski telah ditambat. Frekuensi natural KJA pada gerakan heave tetap pada 0,1 rad/s.



Gambar 4. 11 RAO Gerakan Heave arah 0^0 Terapung Bebas



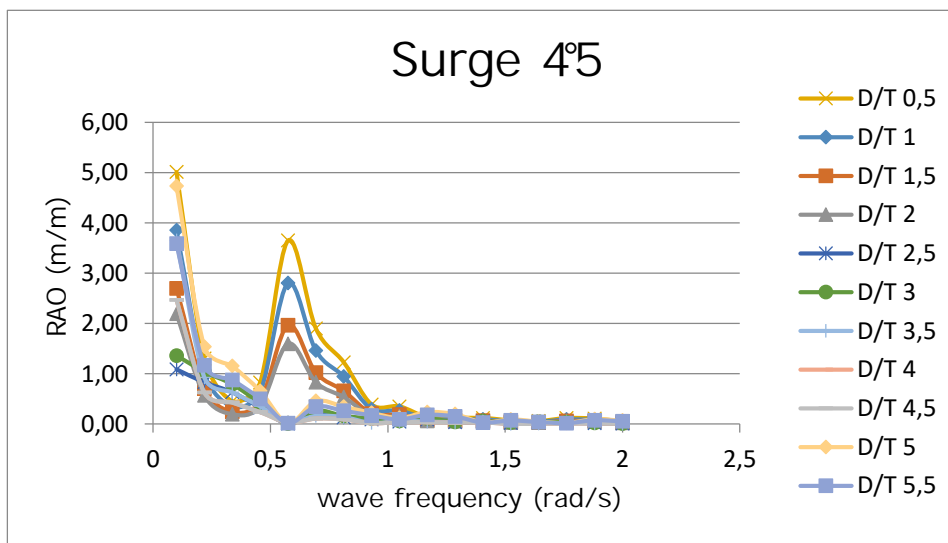
Gambar 4. 12 RAO Gerakan Heave arah 0^0 Tertambat

4.3.1.2 Kondisi Pembebanan 45^0

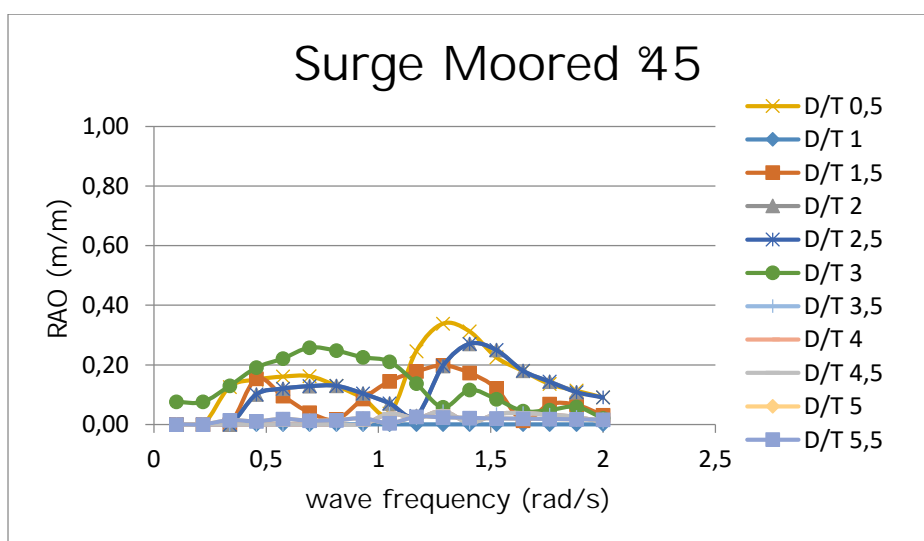
Kondisi pembebanan 45^0 merupakan kondisi arah datangnya gelombang atau beban lingkungan dari arah diagonal. Ilustrasi kondisi pembebanan ini dapat dilihat pada

Gambar 4.6. Gambar 4.6(a) untuk kondisi terapung bebas, sedangkan Gambar 4.6(b) pada kondisi tertambat.

Arah pembebanan 45° mengakibatkan KJA lepas pantai juga memberikan besar respon gerak translasi yang berbeda dari arah 0° . Pada arah pembebanan 45° surge tertinggi pada D/T 0,5 sebesar 5 m/m. Ketika pada kondisi tertambat terlihat pada Gambar 4.14 gerakan surge terbesar pada D/T 0,5 sebesar 0,34m/m. Hal ini dapat dikatakan bahwa sistem tambat pada KJA telah mampu mereduksi gerakan surge sebesar 4,6 m/m pada D/T 0,5.



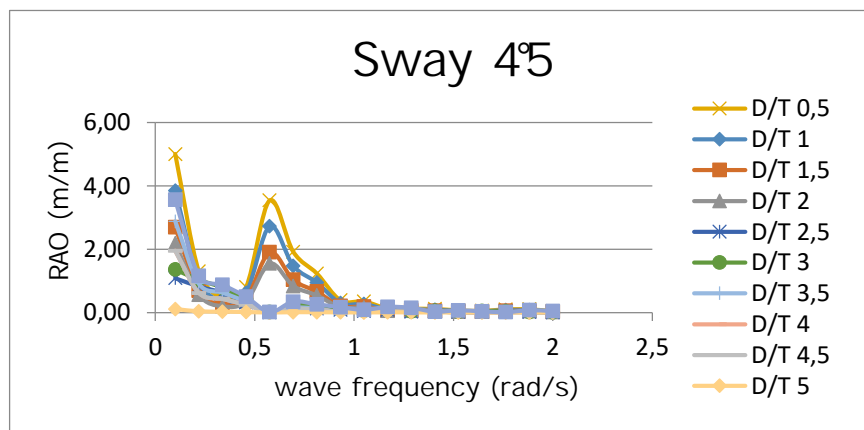
Gambar 4. 13 RAO Gerakan Surge arah 45° Terapung Bebas



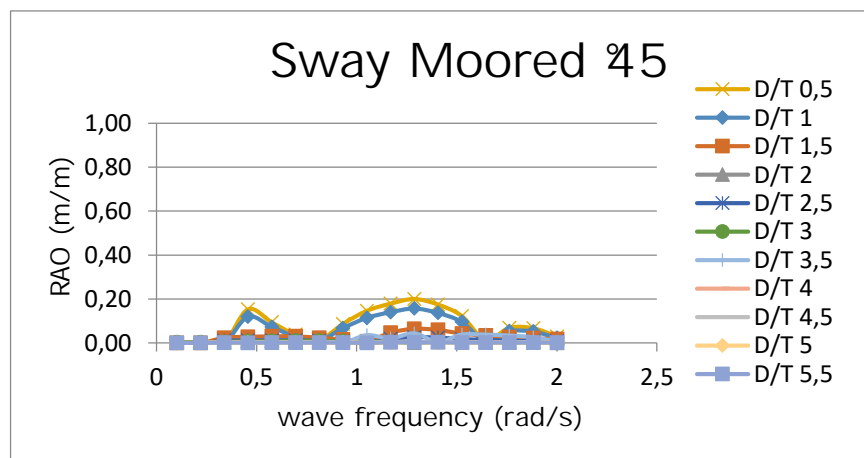
Gambar 4. 14 RAO Gerakan Surge arah 45° Tertambat

Gerakan sway juga terjadi pada KJA lepas pantai akibat arah pembebanan 45^0 . RAO pada gerakan sway memiliki besaran yang hampir sama dengan RAO pada gerakan surge. Hal ini dikarenakan arah pembebanan 45^0 atau diagonal mengakibatkan struktur KJA mudah terdorong ke arah sumbu x dan sumbu y dalam porsi yang sama.

Dibandingkan dengan arah pembebanan 0^0 , gerakan sway pada arah 45^0 memberikan RAO yang lebih besar. Hal ini dikarenakan arah beban 45 atau yang berasal dari arah diagonal lebih banyak memberikan dorongan ke arah sumbu y. Pada Gambar 4.15 terdapat RAO Sway pada kondisi terapung bebas. RAO sway maksimum terjadi pada D/T 0,5 sebesar 5m/m. Sedangkan pada Gambar 4.16 terdapat RAO Sway pada kondisi tertambat dengan RAO maksimum sebesar 0,2 m/m.



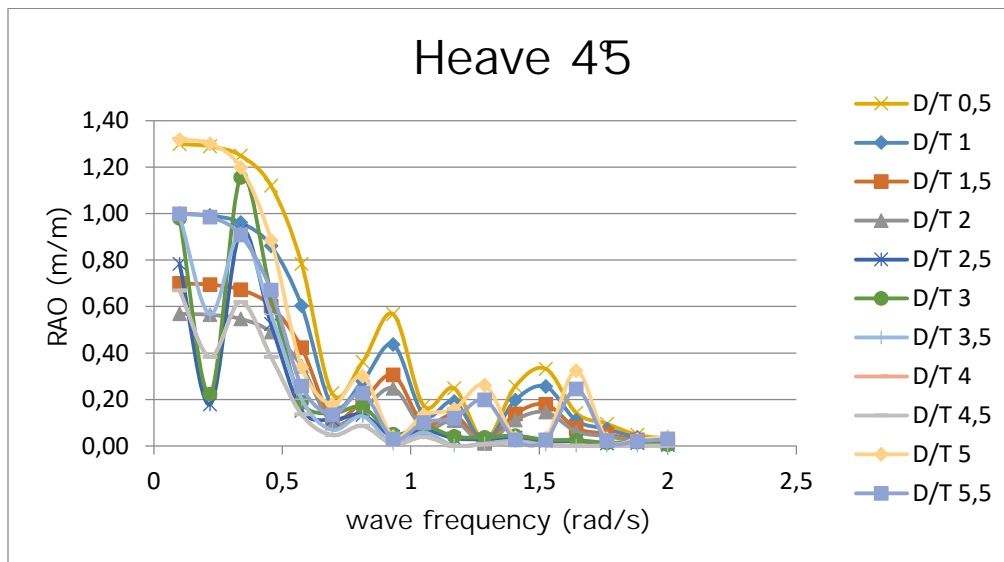
Gambar 4. 15 RAO Gerakan Sway arah 45^0 Terapung Bebas



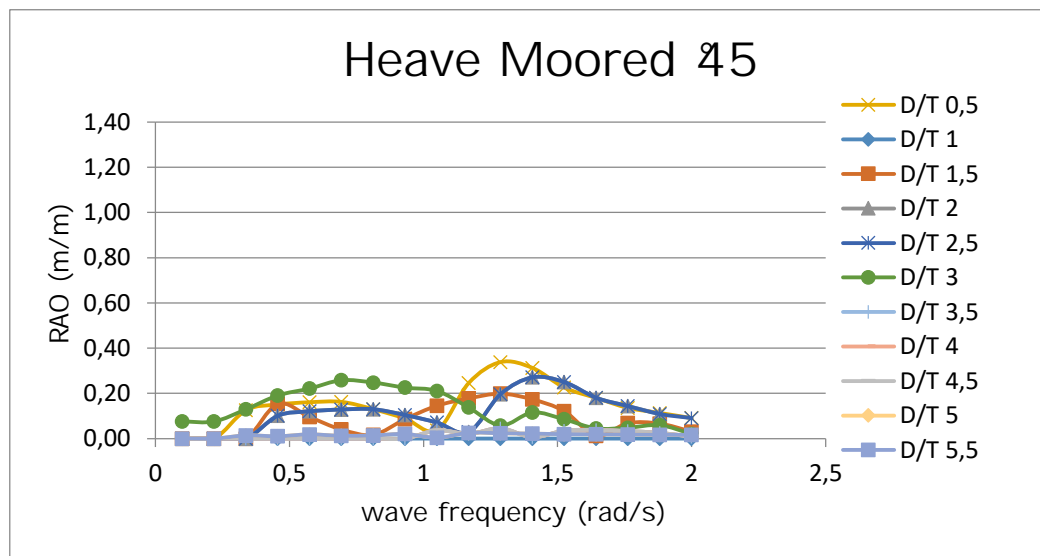
Gambar 4. 16 RAO Gerakan Sway arah 45^0 Tertambat

Struktur KJA lepas pantai juga mengalami gerakan translasi heave akibat arah beban gelombang 45^0 . Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18. Besar RAO gerakan heave arah 45^0 tidak jauh berbeda dari arah beban 0^0 , baik pola pergerakan, frekuensi natural, dan besarnya.

Pada Gambar 4.17 merupakan RAO gerakan Heave pada kondisi terapung bebas, sedangkan pada Gambar 4.18 merupakan RAO gerakan heave pada kondisi tertambat. Jika dicermati dari kurva RAO yang dihasilkan, sistem tambat pada KJA lepas pantai ini efektif mereduksi gerakan heave pada model D/T 0,5. Pada D/T 0,5 gerakan heave dapat berkurang dari 1,3m/m menjadi 0,2m/m. Sedangkan untuk D/T 1,5 sistem tambat hanya mampu mereduksi gerakan heave sebesar 0,4 m/m yakni dari 0,7 m/m setelah ditambat menjadi 0,34 m/m. Jika ditinjau dari frekuensi naturalnya, KJA lepas pantai memiliki frekuensi natural heave yang sama ketika arah pembebanan 0^0 dan 45^0 pada kondisi terapung bebas. Namun berbeda ketika kondisi tertambat. Pada arah 45^0 frekuensi natural pada kondisi tertambat masing-masing model D/T berbeda, namun rata-rata bergeser menjadi 1,5 rad/s.



Gambar 4. 17 RAO Gerakan Heave arah 45^0 Terapung Bebas



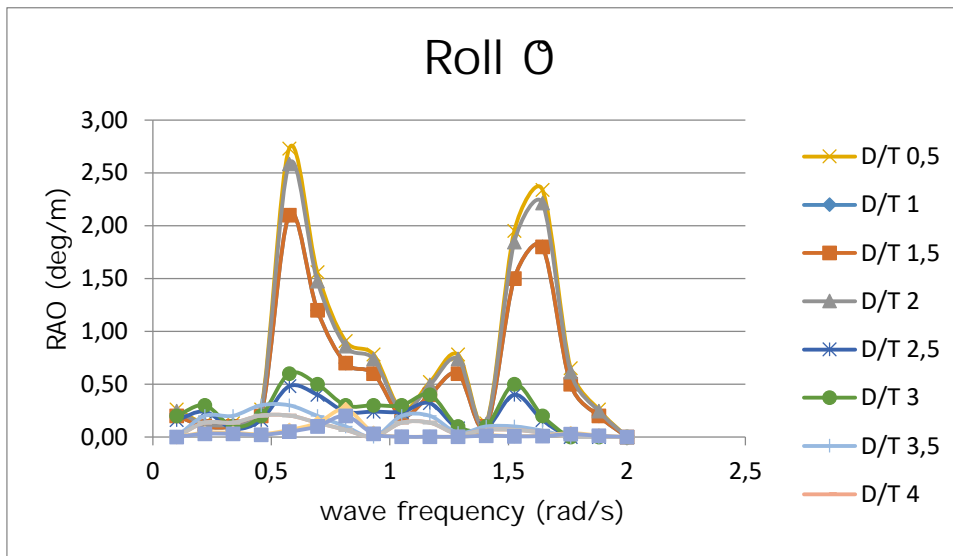
Gambar 4. 18 RAO Gerakan Heave arah 45⁰ Tertambat

4.3.2 RAO Gerakan Rotasi

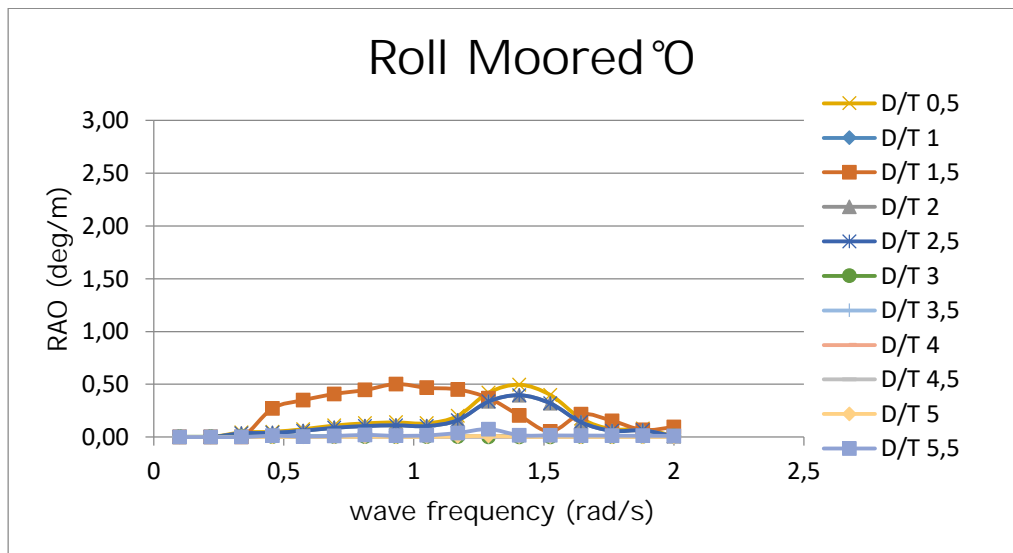
4.3.2.1 Kondisi Pembebanan 0⁰

Pada kondisi pembebanan 0⁰, struktur KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* mengalami gerakan rotasional (roll, pitch, yaw). Gerak rotasional roll merupakan gerak rotasional pada sumbu x, sehingga pada arah pembebanan 0⁰, gerakan roll tidak dominan. RAO gerakan roll pada KJA lepas pantai akibat arah pembebanan 0⁰ disajikan pada Gambar 4.19 dan 4.20.

Pada Gambar 4.19 merupakan RAO pada kondisi terapung bebas, sedangkan pada Gambar 4.20 merupakan RAO gerakan roll pada kondisi tertambat. Gerakan roll tertinggi pada kondisi terapung bebas hanya mencapai 2,73 deg/m pada D/T 0,5. Kemudian setelah ditambat RAO gerakan roll pada D/T 0,5 menjadi lebih kecil yaitu 0,5 deg/m. Akan tetapi untuk D/T 1,5 RAO gerakan roll setelah ditambat hanya mampu turun hingga 0,8 deg/m. Hal serupa juga terjadi pada D/T 1. Hal ini dapat dikatakan bahwa pengaruh sistem tambat tidak terlalu besar pada D/T 1,5 dan D/T 1.



Gambar 4. 19 RAO Gerakan Roll arah 0^0 Terapung Bebas

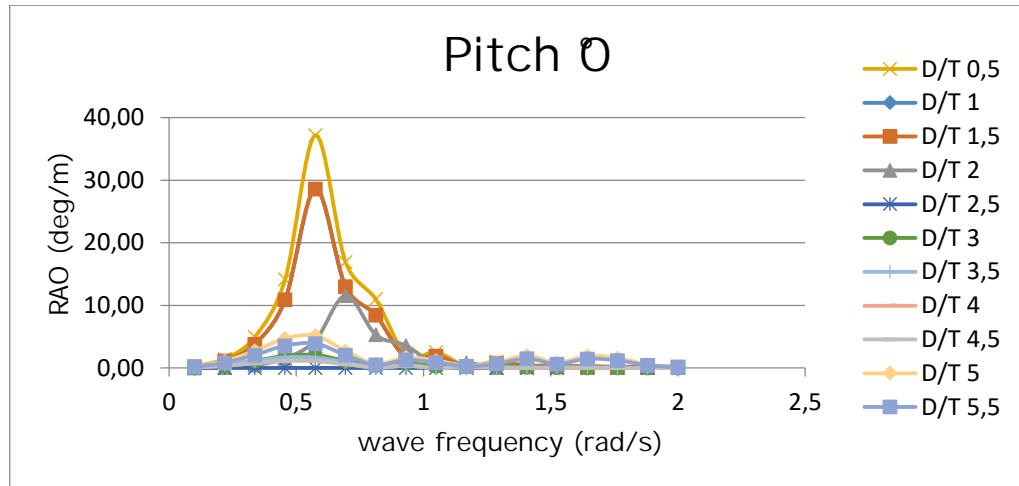


Gambar 4. 20 RAO Gerakan Roll arah 0^0 Tertambat

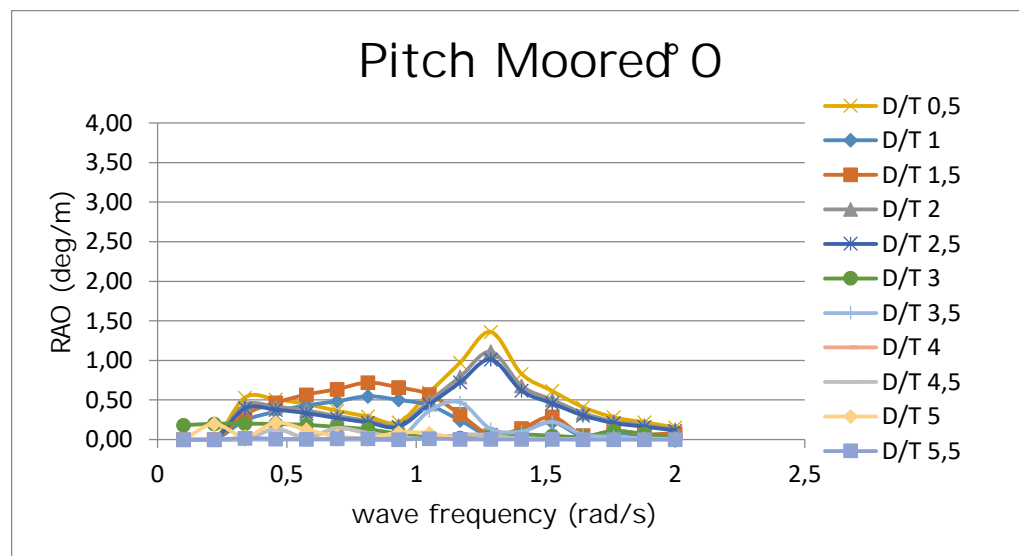
KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* mengalami respon gerak pitch yang tinggi saat arah pembebanan 0^0 . Hal ini dikarenakan gelombang yang datang dari arah sumbu x mendorong bangunan apung untuk bergerak rotasi sumbu y, sehingga gerakan pitch menjadi besar. Ilustrasi arah pembebanan ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Pada Gambar 4.21 merupakan RAO gerakan pitch pada kondisi terapung bebas. Kurva RAO menunjukkan gerakan pitch terbesar mencapai 37 deg/m pada D/T 0,5. Gerakan pitch yang cukup besar juga dialami oleh D/T 1,5 sebesar 28 deg/m.

Kondisi setelah ditambat pada Gambar 4.22 menunjukkan bahwa RAO gerakan pitch turun secara signifikan. Untuk D/T 0,5 RAO gerakan pitch turun menjadi 1,36 deg/m.. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tambat sangat efektif mengurangi gerakan pitch pada model KJA lepas pantai *Ocean FarmITS*.



Gambar 4. 21 RAO Gerakan Pitch arah 0° Terapung Bebas

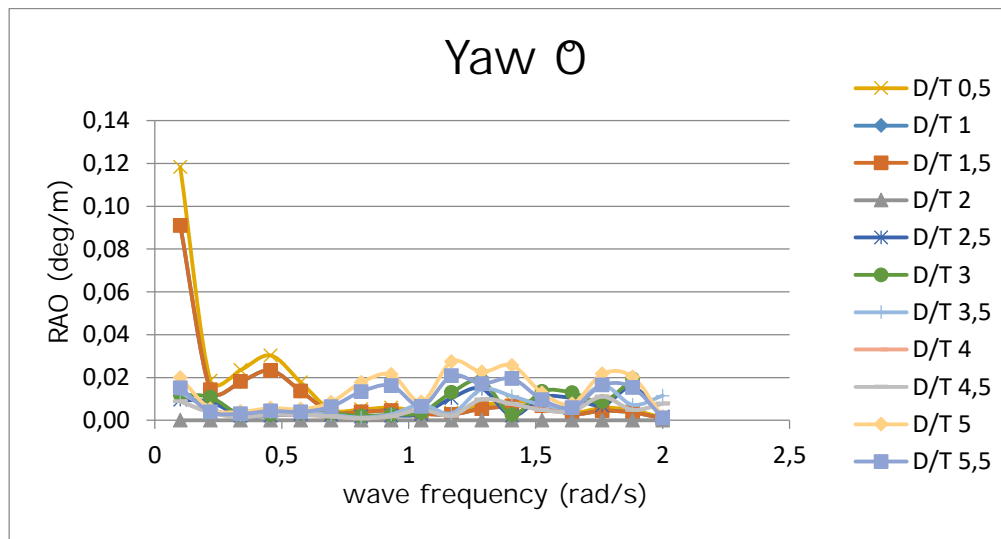


Gambar 4. 22 RAO Gerakan Pitch arah 0° Tertambat

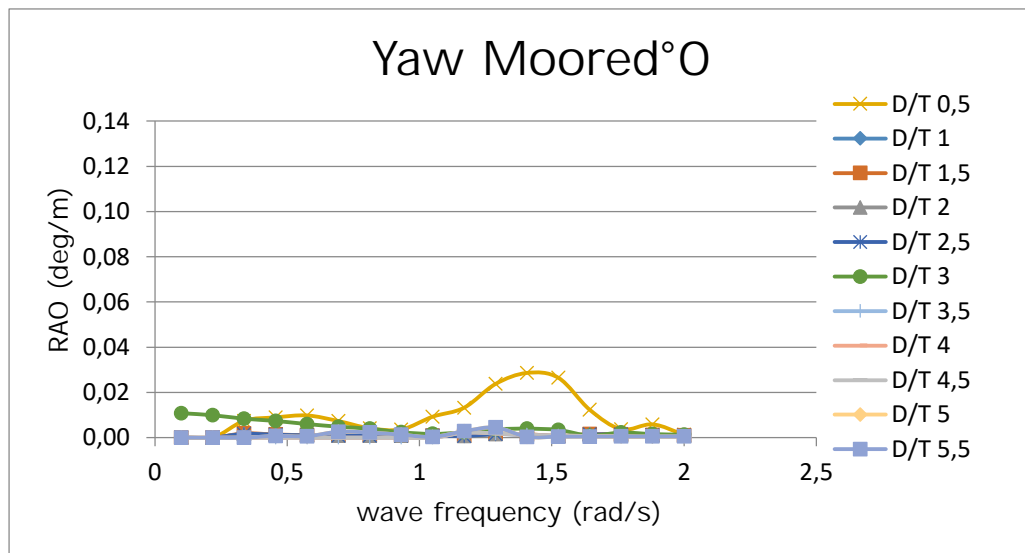
Gerakan Yaw merupakan gerakan rotasional sumbu z. Pada kondisi pembebanan arah 0°, gerakan yaw cenderung kecil. Gambar 4.23 merupakan RAO gerakan yaw pada kondisi terapung bebas, sedangkan pada Gambar 4.24 merupakan gerakan yaw pada kondisi tertambat. Pada kondisi terapung bebas, gerakan yaw mencapai

0,12 deg/m pada D/T 0,5. Setelah ditambah, gerakan yaw pada D/T 0,5 menjadi 0,005 deg/m. Sangat kecil dibandingkan saat kondisi sebelum ditambah.

Frekuensi natural KJA lepas pantai pada gerakan yaw 0^0 pada kondisi terapung bebas yaitu 0,1 rad/s untuk semua variasi D/T. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.23. Frekuensi natural KJA lepas pantai mengalami pergeseran setelah ditambah. Pada kondisi tertambat frekuensi natural gerakan yaw berada pada 1,4 rad/s.



Gambar 4. 23 RAO Gerakan Yaw arah 0^0 Terapung Bebas

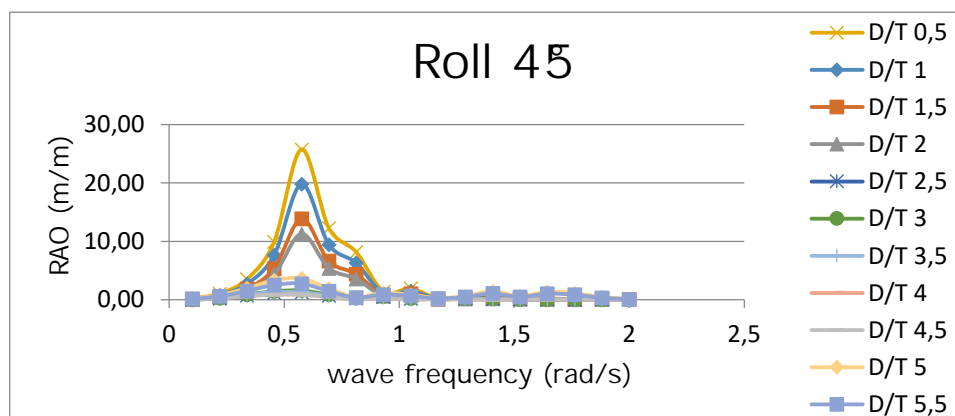


Gambar 4. 24 RAO Gerakan Yaw arah 0^0 Tertambat

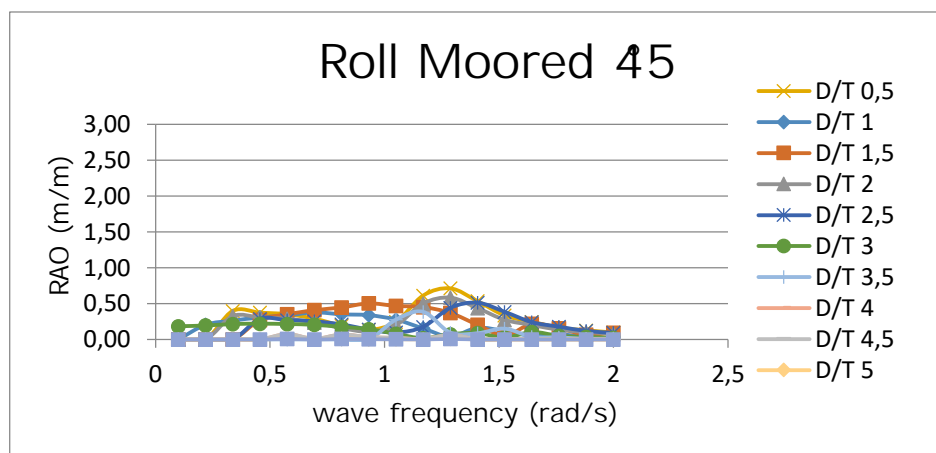
4.3.2.2 Kondisi Pembebanan 45°

Sama halnya dengan gerakan translasi, gerakan rotasi juga perlu dianalisis pada kondisi pembebanan 45° atau arah pembebanan diagonal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.3. Pada kondisi pembebanan 45°, gerakan rotasional didominasi dengan gerakan roll dan pitch.

Pada Gambar 4.25 merupakan RAO gerakan roll pada kondisi terapung bebas, sedangkan pada Gambar 4.26 merupakan RAO gerakan roll pada kondisi tertambat. Pada kondisi terapung bebas, gerakan roll tertinggi berada pada frekuensi 0,5 rad/s sebesar 25,74 deg/m. Gerakan roll sebesar ini dialami oleh D/T 0,5. Kemudian berurutan semakin menurun hingga D/T 5,5. Setelah ditambat, besar RAO gerakan roll D/T 0,5 menjadi 0,71 deg/m. Penurunan RAO gerakan roll yang signifikan ini mengindikasikan bahwa sistem tambat memberikan pengaruh besar untuk menurunkan gerakan roll pada masing – masing variasi model D/T.



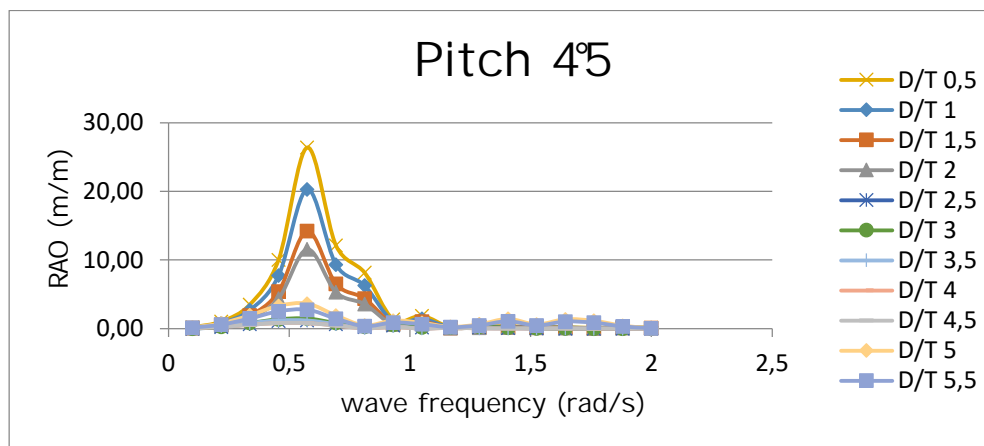
Gambar 4. 25 RAO Gerakan Roll arah 45° Terapung Bebas



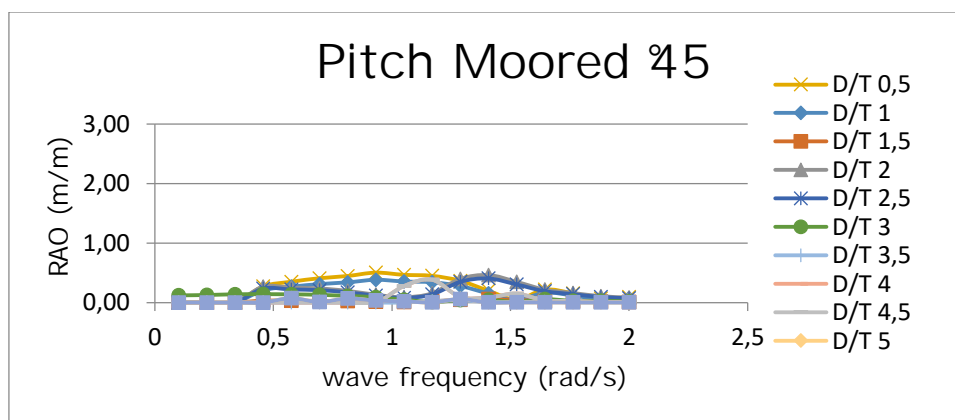
Gambar 4. 26 RAO Gerakan Roll arah 45° Tertambat

KJA lepas pantai juga mengalami gerakan rotasi pitch yang cukup besar akibat arah beban 45° . Gerakan pitch merupakan gerakan rotasional dengan sumbu y sebagai sumbu putarnya. Besarnya gerakan pitch pada KJA dapat dilihat pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.

Gambar 4.27 merupakan RAO gerakan pitch pada kondisi terapung bebas. RAO tertinggi mencapai 25,6 deg/m pada model D/T 0,5. Besarnya RAO gerakan pitch pada arah 45° ini hampir sama dengan besar gerakan roll nya. Pola gerakan dan frekuensi natural juga sama terjadi pada frekuensi 0,5 rad/s. Gerakan pitch pada kondisi tertambat dapat dilihat pada Gambar 4.28. Penurunan yang signifikan pada RAO masing-masing model D/T. Pada D/T 0,5 gerakan roll menurun hingga 0,5 deg/m.

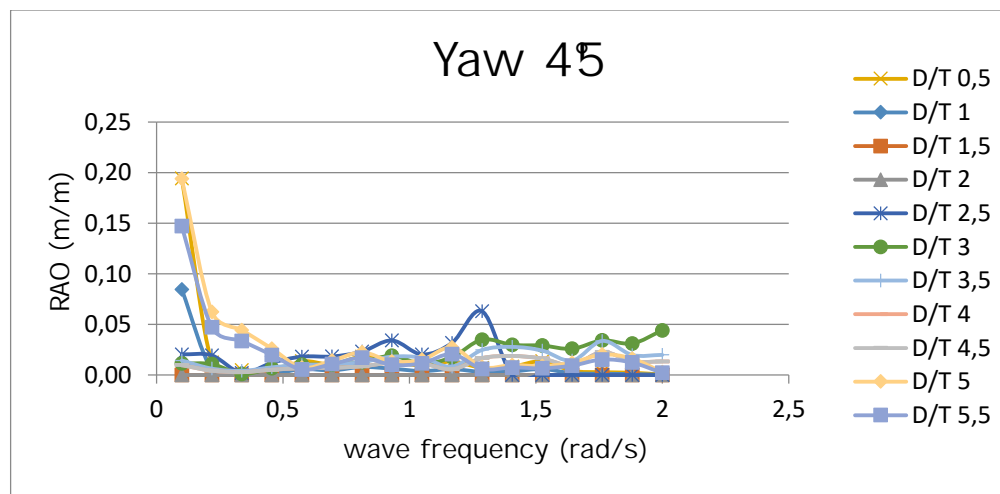


Gambar 4. 27 RAO Gerakan Pitch arah 45° Terapung Bebas

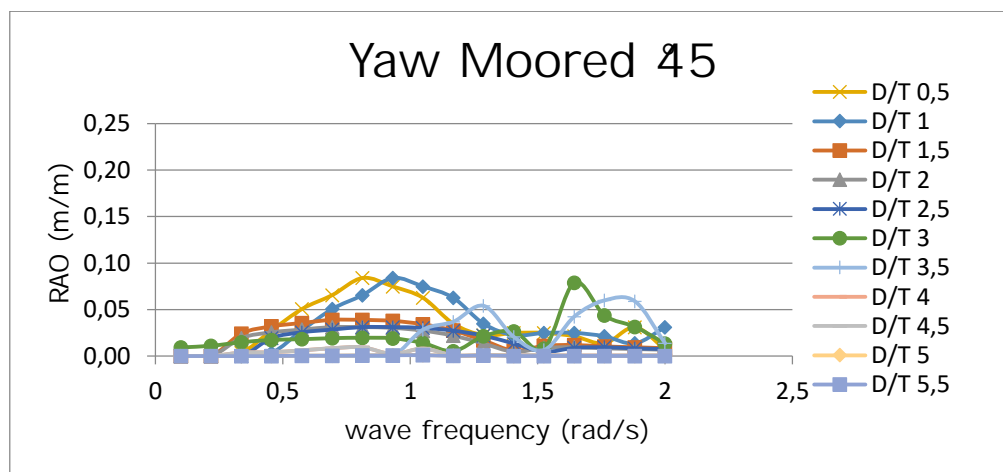


Gambar 4. 28 RAO Gerakan Roll arah 45° Tertambat

Gerakan yaw juga dialami KJA lepas pantai akibat arah pembebanan 45^0 . Gerakan yaw merupakan gerakan rotasioal dengan sumbu z sebagai sumu putarnya. Namun jika dibandingkan dengan gerakan rotasi yang lain, gerakan Yaw yang terjadi sangat kecil. Gambar 4.29 memberikan ilustrasi gerakan Yaw pada KJA lepas pantai kondisi terapung bebas. Gerakan Yaw tertinggi hanya mencapai 0,2 deg/m pada D/T 0,5. Ketika sudah ditambat gerakan yaw pada KJA lepas pantai semakin menurun hingga 0,08 deg/m terlihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4. 29 RAO Gerakan Yaw arah 45^0 Terapung Bebas



Gambar 4. 30 RAO Gerakan Yaw arah 45^0 Tertambat

Berdasarkan analisis pada kurva RAO dapat disimpulkan bahwa semakin D/T bernilai besar maka semakin kecil respon gerakanya pada gelombang reguler.

Dengan kata lain, semakin lebar diameter dibandingkan dengan kedalaman jaring, KJA semakin stabil. Namun hal ini perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk respon gerak KJA lepas pantai di kondisi lingkungan sesungguhnya.

Jika ditinjau dari segi frekuensi naturalnya, rata-rata KJA lepas pantai mempunyai frekuensi natural 0,5 rad/s pada kondisi terapung bebas. Pada kondisi tertambat masing-masing model KJA lepas pantai mengalami pergeseran pada frekuensi naturalnya. Masing-masing model KJA lepas pantai pada kondisi tertambat bergeser ke arah frekuensi yang lebih tinggi. Pada D/T 1 hingga D/T 5,5 frekuensi natural ketika ditambat nilainya tidak jauh berbeda, berada di sekitar 1 rad/s hingga 1,5 rad/s. Namun untuk D/T 0,5 ketika ditambat frekuensi naturalnya berada pada nilai yang lebih rendah daripada D/T yang lain. Hal ini dikarenakan desain D/T 0,5 diameternya lebih kecil dibandingkan kedalaman jaring, sehingga memberikan respon yang berbeda dengan desain lain yang diameternya lebih besar dibandingkan kedalaman jaringnya.

4.4 Spektra Gelombang

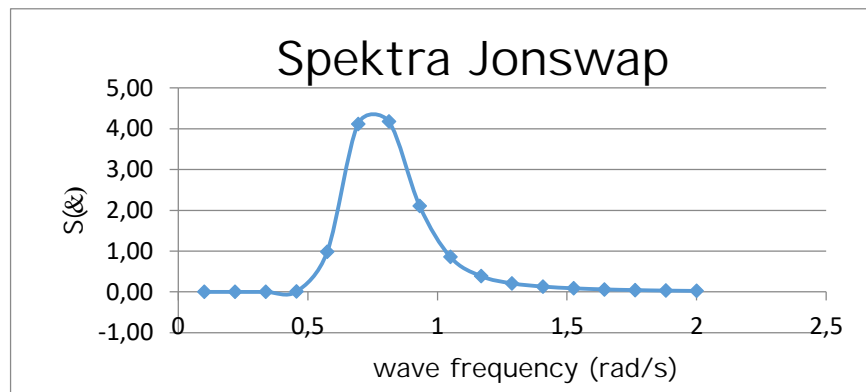
Spektra gelombang digunakan untuk analisis respon struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* pada kondisi lingkungan yang sebenarnya. Sehingga dibutuhkan data gelombang yang sesuai di daerah tersebut. Pada penelitian ini struktur akan disimulasikan di perairan selatan Pulau Jawa. Untuk detail lokasi dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Lokasi Instalasi KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Spektrum gelombang pada lokasi perairan selatan Pulau Jawa disimulasikan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP. Pemilihan spektrum JONSWAP ini berdasarkan Chakrabarti (1987) yang menyatakan bahwa perairan tertutup dapat

menggunakan spectra JONSWAP. Berdasarkan perhitungan melalui persamaan pada Sub Bab 2.2.2 didapatkan T_p untuk perairan Selatan Pulau Jawa ini adalah 4,71 s, sehingga $\frac{T_p}{\sqrt{H_s}} = 2,22$. Mengikuti persamaan 2.1, didapatkan γ untuk spektrum gelombang di perairan Selatan Pulau Jawa sebesar 5. Berikut adalah kurva spektrum JONSWAP untuk perairan Selatan Pulau Jawa (Gambar 4.32).



Gambar 4. 32 Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 4,5\text{m}$, $T_p = 4,71\text{s}$)

4.5 Respon Struktur

Analisis respon struktur dilakukan untuk mengetahui respon gerak struktur pada kondisi lingkungan yang sebenarnya. Pengaruh kondisi lingkungan dalam analisis ini diakumulasikan sebagai beban eksternal yang mengenai struktur. Beban lingkungan berupa beban angin, arus, dan gelombang diperhitungkan pada perhitungan spektra gelombang yang telah dijabarkan pada Sub Bab 2.5 sebelumnya. Hasil analisis respon struktur merupakan sebaran energi gelombang yang mengenai struktur. Analisis respon struktur dilakukan dalam ranah frekuensi, untuk memeriksa apakah struktur terjadi resonansi atau tidak.

Analisis respon struktur pada kondisi tertambat dilakukan pada arah pembebanan 0° dan 45° untuk masing-masing gerakan translasi dan rotasi. Berikut merupakan hasil dari analisis respon struktur yang terjadi pada model KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* dengan variasi parameter D/T .

4.5.1 Respon Struktur Gerakan Translasi

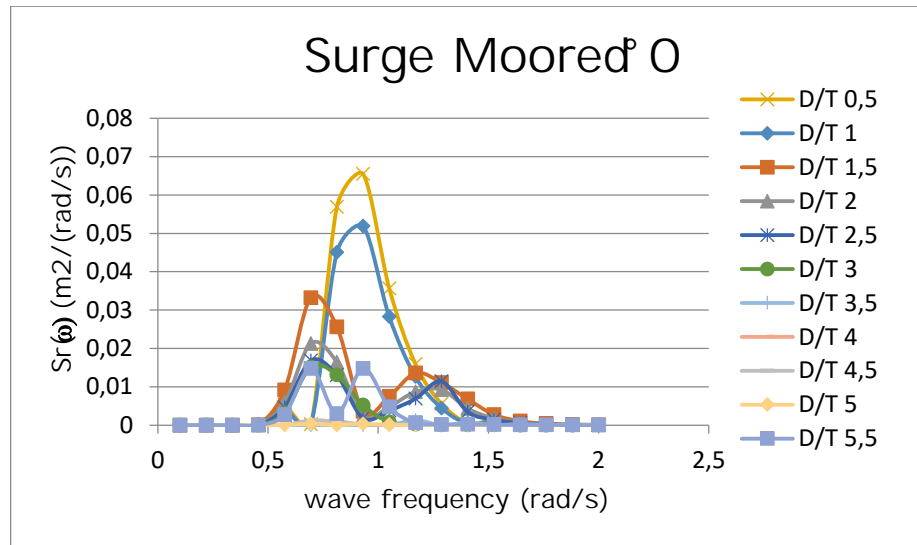
Respon struktur gerakan translasi yaitu pada gerakan Surge, Sway, Heave. Respon struktur dianalisis pada kondisi beban lingkungan 0^0 dan 45^0 . Ilustrasi kondisi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.6. Respon struktur gerakan translasi yang dibahas merupakan respon struktur dari hasil analisis respon struktur terbesar diantara 0^0 dan 45^0 .

Pada Gambar 4.33 merupakan spektra respon gerak surge pada kondisi lingkungan sebenarnya. Gerakan surge terbesar pada arah beban 0^0 , sehingga respon struktur surge terbesar juga terjadi akibat arah beban lingkungan 0^0 . Dilihat dari Gambar 4.33, respon struktur surge terbesar pada D/T 0,5 dan D/T 1 terjadi pada frekuensi 0,1 rad/s sebesar $0,065 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ dan $0,05 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Sedangkan D/T yang lain terjadi pada frekuensi 0,5 rad/s.

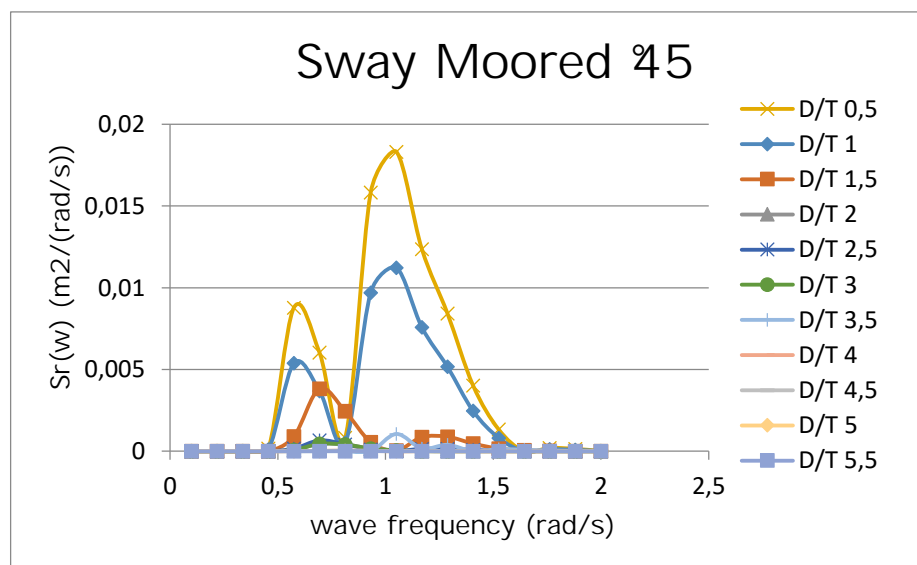
Hal serupa juga terjadi pada gerakan sway. Respon gerak sway sangat kecil dengan frekuensi puncaknya terletak pada 1,05 rad/s untuk semua model D/T. Kurva spektra respon gerakan sway terbesar dapat dilihat pada Gambar 4.34. Respon struktur sway terbesar terjadi akibat beban lingkungan dari arah 45^0 .

Untuk gerakan translasi heave, besar respon struktur dapat dilihat pada Gambar 4.35. Respon struktur heave terbesar terjadi saat arah beban lingkungan 0^0 pada D/T 0,5. Frekuensi puncak pada spektra respon gerakan heave terjadi pada 0,7 rad/s untuk seluruh model D/T.

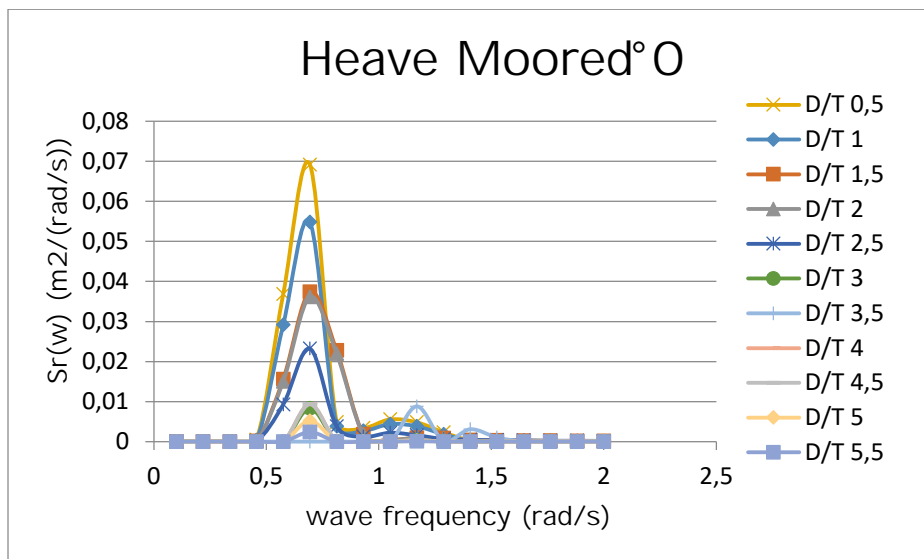
Secara umum respon struktur pada gerakan translasi sangat kecil. Nilai maksimum hanya mencapai $0,07 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Hal ini membuktikan bahwa struktur tidak mengalami resonansi gerak translasi pada kondisi lingkungan sebenarnya.



Gambar 4. 33 Spektra Respon Gerakan Maksimum Surge Tertambat



Gambar 4. 34 Spektra Respon Gerakan Maksimum Sway Tertambat

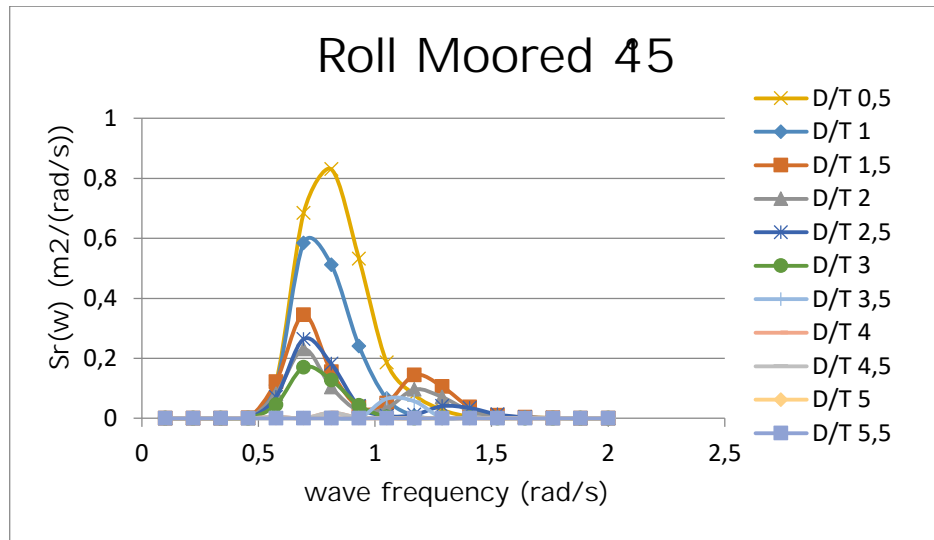


Gambar 4. 35 Spektra Respon Gerakan Maksimum Heave Tertambat

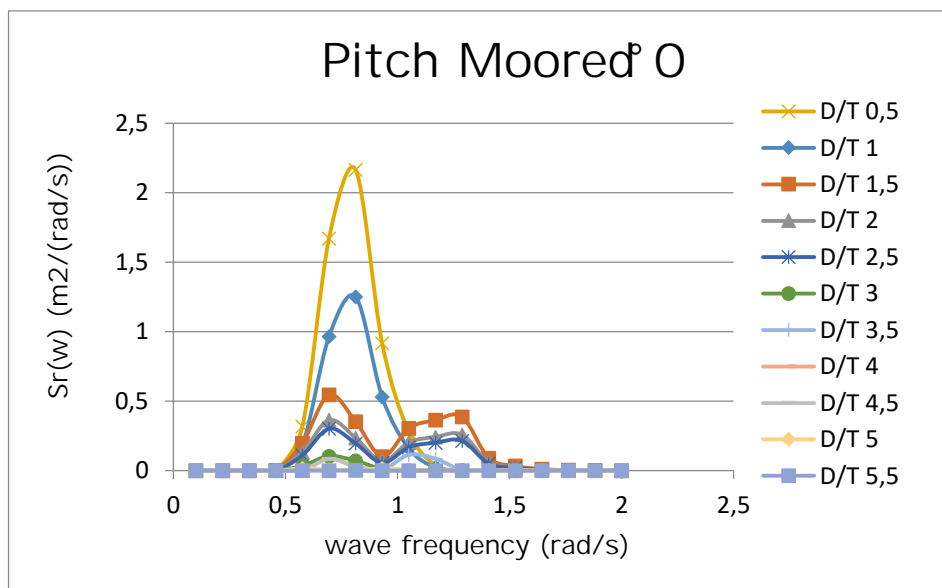
4.5.2 Respon Struktur Gerakan Rotasi

Respon struktur pada gerak rotasi disajikan pada Gambar 4.36, 4.37, 4.38. Gambar 4.33 merupakan kurva respon spektra gerakan roll pada kondisi tertambat. Respon struktur gerakan roll terbesar terjadi pada arah pembebanan 45^0 . Besar respon struktur gerakan roll pada D/T 0,5 yaitu $0,8 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Nilai ini merupakan nilai respon struktur tertinggi diantara model D/T lainnya.

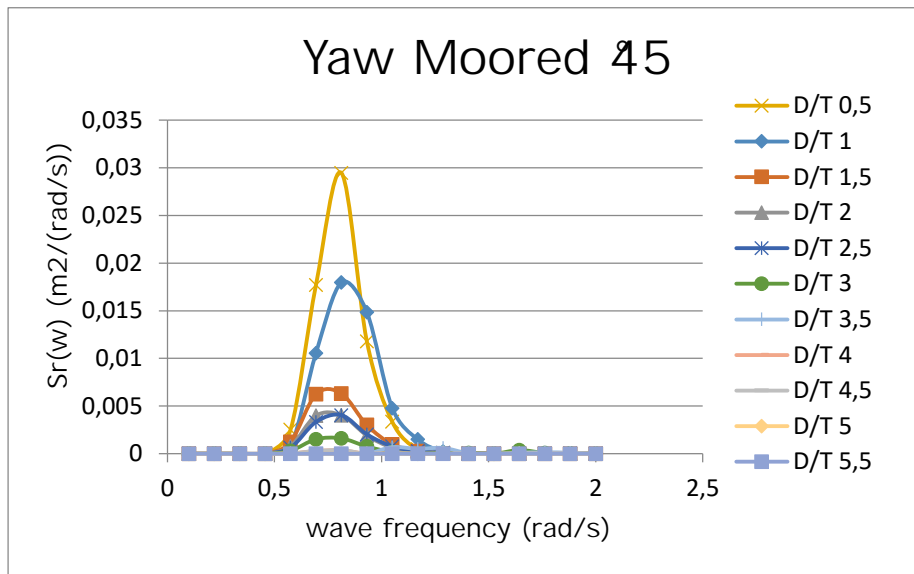
Gambar 4.34 merupakan respon struktur gerakan pitch pada kondisi tertambat. Diantara respon struktur gerakan rotasi yang lain, gerakan pitch dari arah beban 0^0 adalah yang paling besar. Sedangkan respon struktur rotasional terkecil pada gerakan Yaw (kurva Gambar 4.35) dengan nilai maksimumnya $0,03 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ pada D/T 0,5. Spektra respon gerak rotasional memiliki frekuensi puncak pada $0,7 \text{ rad/s}$. Hal ini berlaku untuk semua variasi model D/T .



Gambar 4. 36 Spektra Respon Gerakan Maksimum Roll Tertambat



Gambar 4. 37 Spektra Respon Gerakan Maksimum Pitch Tertambat



Gambar 4. 38 Spektra Respon Gerakan Maksimum Yaw Tertambat

4.6 Nilai Stokastik Gerakan KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* pada Kondisi Lingkungan

Nilai stokastik diperlukan untuk mempermudah dalam interpretasi nilai respon struktur pada gelombang acak dalam bentuk besaran perpindahan struktur (Bathacarya,1978). Pengamatan pada perpindahan struktur akibat gelombang acak ini dilakukan pada kondisi translasi dan rotasi.

Nilai stokastik pada masing-masing variasi D/T dihitung berdasarkan prosedur yang telah dilakukan oleh Bathacarya dan Djatmiko dari hasil simulasi spektra respons. Nilai stokastik dihitung pada masing-masing spektra respon maksimum. Prosedur perhitungan nilai stokastik dijabarkan melalui Tabel 4.2 dibawah ini. Tabel 4.2 merupakan salah satu respon struktur akibat gerakan surge pada ukuran D/T 3,5 pada kondisi tertambat.

Tabel 4. 2 Perhitungan Spektra Respon Surge Untuk Ocean Farm ITS Pada D/T 3

w	RAO	S(w)	SM	Sr(w)	Sr(w)*SM	w*Sr(w)*SM	w ² *Sr(w)*SM	w ⁴ *Sr(w)*SM
	m/m			(m ² /rad/s)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0,10	0,00	0,00	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,22	0,00	0,00	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,34	0,00	0,00	2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,46	0,00	0,01	4	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001
0,58	0,00	0,99	2	0,000	0,000	0,000	0,651	0,215
0,69	0,00	4,12	4	0,000	0,000	0,000	7,925	3,814
0,81	0,00	4,18	2	0,000	0,000	0,000	5,514	3,640
0,93	0,00	2,11	4	0,000	0,000	0,000	7,309	6,338
1,05	0,00	0,86	2	0,000	0,000	0,000	1,887	2,080
1,17	0,06	0,38	4	0,001	0,005	0,006	2,102	2,871
1,29	0,01	0,21	2	0,000	0,000	0,000	0,694	1,151
1,41	0,07	0,13	4	0,001	0,003	0,004	1,037	2,050
1,53	0,02	0,09	2	0,000	0,000	0,000	0,410	0,954
1,64	0,07	0,06	4	0,000	0,001	0,002	0,665	1,798
1,76	0,04	0,04	2	0,000	0,000	0,000	0,273	0,849
1,88	0,05	0,03	4	0,000	0,000	0,001	0,454	1,606
2,00	0,05	0,02	1	0,000	0,000	0,000	0,095	0,380
					0,00964	0,01280	29,02278	27,74905
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Kolom (3) merupakan hasil dari perhitungan spektra gelombang JONSWAP untuk wilayah Laut Selatan Pulau Jawa pada tinggi gelombang ekstrim 4,5 m dan periode 16s. Perhitungan ini menggunakan metode simpson sehingga pada kolom (4) terdapat faktor simpson sebagai pengali untuk membantu dalam perhitungan luasan bawah kurva spektra. Kolom (5) merupakan spektra respon ($S_r(\omega)$) yang merupakan hasil dari perkalian RAO^2 dengan spektra gelombang ($S(\omega)$) pada kolom (3). Pada kolom (6) merupakan hasil dari perkalian spektra respon (S_r) dengan faktor simpson, yang kemudian dijumlahkan menjadi $\Sigma 0$. Hasil dari $\Sigma 0$ digunakan untuk menghitung luasan dibawah kurva spektra respon dengan persamaan :

$$mr_0 = 1/3 \times A\omega \times \Sigma 0 \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

Kolom (7) merupakan hasil perkalian dari kolom (1) atau frekuensi dengan kolom (6) dan bila dijumlahkan menjadi $\Sigma 1$. Kemudian perhitungan luas dibawah kurva juga dilakukan seperti prosedur diatas dengan persamaan :

$$mr_1 = 1/3 \times A\omega \times \Sigma 1 \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

Pada kolom (8) terdapat hasil perkalian antara ω^2 pada kolom (1) dengan kolom $S(\omega)$ pada kolom (3) dan faktor simpson pada kolom (4). Penjumlahan dari kolom (8) merupakan $\Sigma 2$, yang akan digunakan untuk menghitung luasan dibawah kurva menggunakan persamaan :

$$mr_2 = 1/3 \times A\omega \times \Sigma 2 \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

Kolom terakhir atau kolom (9) merupakan hasil dari perkalian antara ω^4 dengan spektra respon $S_r(\omega)$ pada kolom (3). Luasan dibawah kurva juga dapat dihitung dari hasil penjumlahan seluruh harga dari kolom (9) atau $\Sigma 4$ melalui persamaan :

$$mr_4 = 1/3 \times A\omega \times \Sigma 4 \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

Dari persamaan diatas dapat dilakukan perhitungan parameter stokastik dari amplitudo rata-rata struktur, kecepatan, dan percepatan struktur pada gelombang acak. Dari Tabel 4.2 diatas didapatkan nilai $\Sigma 0$, $\Sigma 2$, dan $\Sigma 4$. Sehingga didapatkan

nilai m_0 , m_2 , dan m_4 . Untuk mengetahui Zeta rata-rata gerakan surge dapat dihitung melalui :

$$Z_{rata-rata} = 2,5 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(4.10)$$

sehingga didapatkan Z_{av} atau amplitudo rata-rata gerakan surge pada gelombang acak sebesar 0,122 m. Kemudian didapatkan nilai m_2 merupakan kecepatan gerakan surge yaitu 1,14 m/s dan m_4 merupakan percepatan gerak surge yaitu 1,09 m/s². Perhitungan parameter stokastik ini dilakukan pada masing-masing variasi model untuk mengetahui model matematisnya serta pemenuhan kriteria operabilitas.

Pada kondisi tertambat *Ocean FarmITS* masih mengalami gerakan translasi dan rotasi. Namun gerakan yang terjadi pada kondisi ini sangat kecil dibandingkan dengan saat kondisi terapung bebas. Data pada Tabel 4.3 di bawah ini merupakan nilai stokastik amplitudo rata-rata gerakan KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* pada kondisi tertambat.

Tabel 4. 3 Nilai Stokastik Amplitudo Gerakan Struktur *Ocean FarmITS* pada Gelombang Acak

D/T	Surge m/m	Sway m/m	Heave m/m	Roll deg/m	Pitch deg/m	Yaw deg/m
0,5	0,920	0,600	0,803	3,434	5,009	0,547
1	0,818	0,470	0,714	2,719	3,807	0,493
1,5	0,736	0,225	0,619	2,224	3,309	0,295
2	0,594	0,075	0,608	1,819	2,701	0,236
2,5	0,541	0,094	0,470	1,791	2,462	0,230
3	0,428	0,075	0,234	1,381	1,031	0,157
3,5	0,123	0,083	0,282	0,760	0,960	0,098

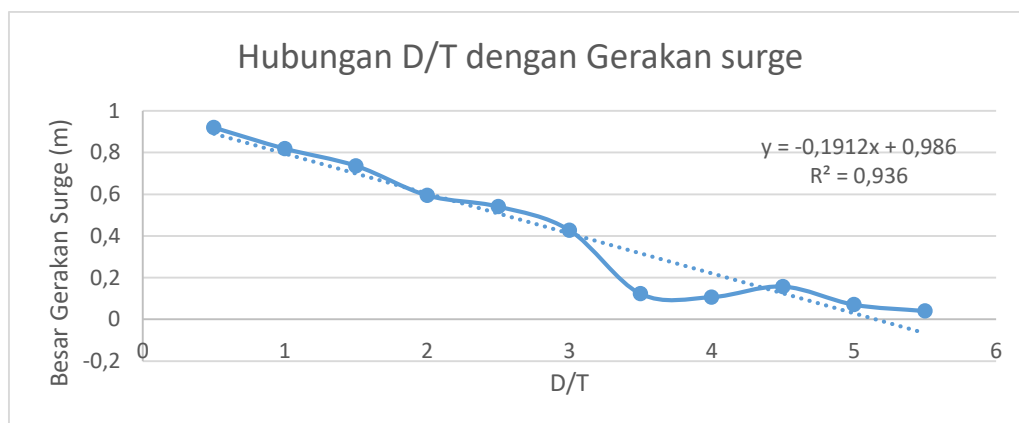
Tabel 4. 4 Nilai Stokastik Amplitudo Gerakan Struktur *Ocean FarmITS* pada Gelombang Acak (lanjutan)

D/T	Surge m/m	Sway m/m	Heave m/m	Roll deg/m	Pitch deg/m	Yaw deg/m
4	0,107	0,024	0,248	0,306	0,802	0,058
4,5	0,158	0,012	0,234	0,079	0,578	0,023
5	0,071	0,018	0,185	0,046	0,471	0,006
5,5	0,040	0,015	0,124	0,031	0,079	0,005

Tabel diatas merupakan ringkasan dari nilai amplitudo gerakan maksimum pada masing-masing model variasi D/T pada *Ocean FarmITS*.

4.6.1 Gerakan Translasi

Gambar 4.39, Gambar 4.40, dan Gambar 4.41 merupakan kurva hubungan variasi D/T terhadap besar gerakan translasi. Secara umum amplitudo gerakan translasi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai D/T. Hal ini bisa juga diartikan dengan semakin pipih struktur *Ocean FarmITS*, maka gerakan translasinya semakin kecil atau semakin stabil.



Gambar 4. 39 Hubungan D/T dengan Gerakan Surge

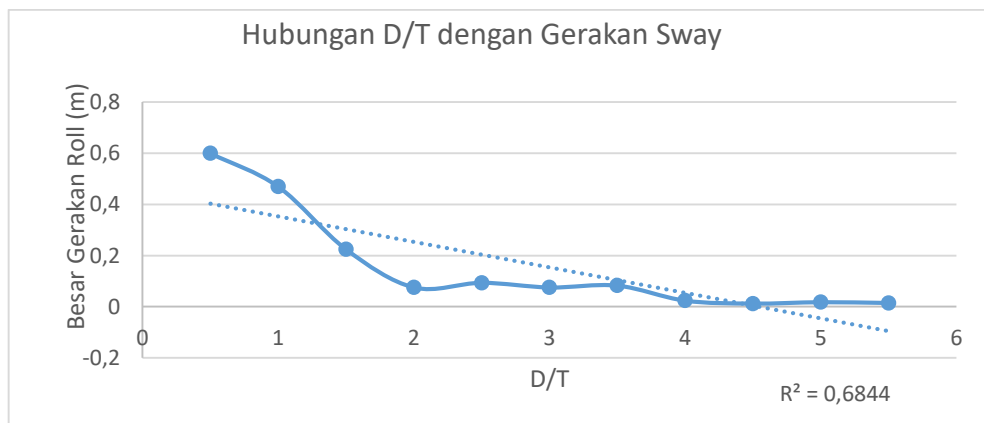
Pada Gambar 4.39 merupakan grafik hubungan antara variasi D/T dengan amplitudo gerakan surge. Amplitudo gerakan surge terbesar adalah 0,9m. Terjadi pada D/T 0,5 atau ketika diameter struktur lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman jaringnya. Amplitudo gerakan surge terkecil bernilai 0,04m pada D/T 5,5 atau ketika diameter 5,5 kali lebih besar daripada tingginya.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.39 besar amplitudo gerakan surge akibat variasi D/T mengalami penurunan rata-rata 14% secara linier hingga D/T 3, kemudian turun signifikan sebesar 71% pada D/T 3,5, dan selanjutnya mendekati konstan. Penurunan gerakan surge akibat bertambahnya rasio D/T cukup signifikan mencapai 79% jika dilihat dari desain D/T 0,5 ke D/T 3. Kemudian gerakan surge konstan setelah D/T 3,5 hingga D/T 5,5. Jika didekati dengan model linier, maka dihasilkan persamaan :

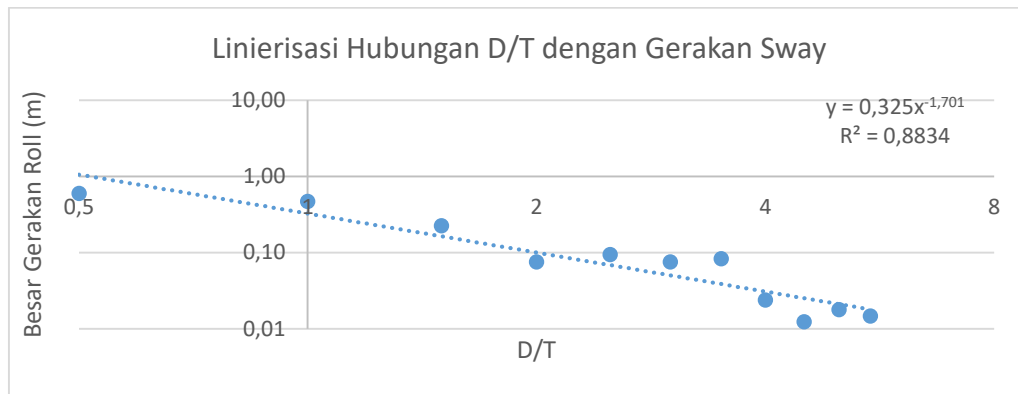
$$y = -0,1912x + 0,986 \quad \dots\dots\dots(4.11)$$

$$y = -0,1912 (D/T) + 0,986 \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

Grafik pada Gambar 4.40 merupakan grafik hubungan antara variasi D/T dengan amplitudo gerakan sway. Gerakan sway tertinggi ada pada D/T 0,5 sebesar 0,6m. Gerakan sway cenderung turun secara linier hingga D/T 2. Penurunan terbesar pada D/T 1 ke D/T 1,5 mencapai 66%. Setelah itu nilai cenderung konstan hingga D/T 5,5. Penurunan gerakan sway signifikan jika dilihat dari D/T 0,5 ke D/T 2 yaitu mencapai 87%.



Gambar 4. 40 Hubungan D/T dengan Gerakan Sway



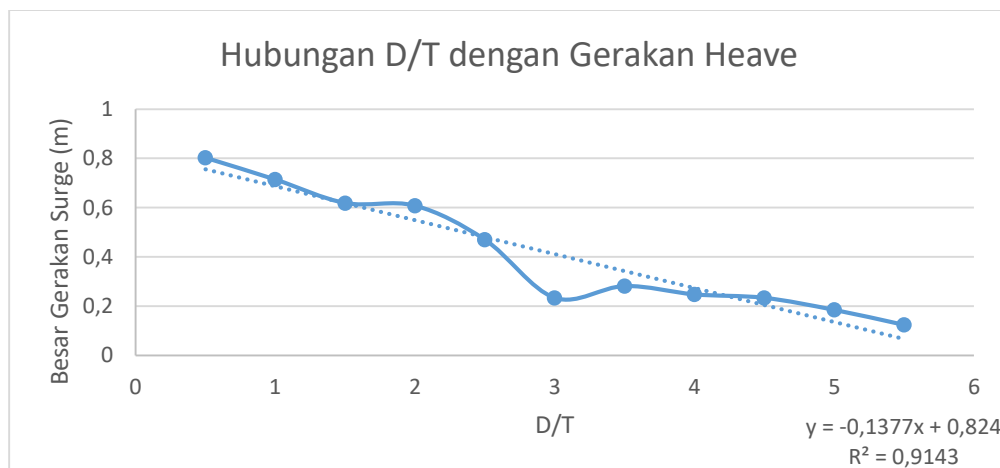
Gambar 4. 41 Linierisasi Hubungan D/T dengan Gerakan Sway

Untuk mempermudah menginterpretasi dalam bentuk model matematis, grafik dibuat dalam bentuk logaritmik seperti pada Gambar 4.41.

Hal ini bertujuan untuk menghasilkan model linier dari tren amplitudo gerakan sway, sehingga terbentuk persamaan liniernya :

$$\log y = \log(0,325x)^{-0,701} \dots\dots\dots(4.13)$$

$$\log y = \log (0,325(D/T))^{-0} \dots\dots\dots(4.14)$$



Gambar 4. 42 Hubungan D/T dengan Gerakan Heave

Hubungan variasi D/T dengan besar gerakan heave disajikan dalam grafik pada Gambar 4.42. Kurva pada Gambar 4.42 menginformasikan bahwa amplitudo gerakan heave menurun ketika D/T semakin besar. Kurva ini identik dengan kurva pada gerakan surge, menurun namun tidak tajam sseperti pada gerakan sway. Besar

gerakan heave terbesar berada pada D/T 0,5 sebesar 0,9 m. Sedangkan nilai amplitudo gerakan heave terkecil berada pada D/T 5,5 sebesar 0,12 m. Penurunan yang cukup tajam terjadi pada D/T 2,5 – D/T 3 dengan penurunan sebesar 0,24m atau 50%. Sedangkan pada tiap kenaikan D/T nya rata-rata penurunan gerakan heave sebesar 14%. Penurunan gerakan heave dari D/T 0,5 ke D/T 3 sebesar 71%, kemudian gerakan heave cenderung konstan hingga perubahan D/T 5,5. Kurva ini masih memenuhi jika didekati dengan garis linier, dan menghasilkan persamaan matematis :

$$y = -0,1377x + 0,824 \quad \dots\dots\dots(4.15)$$

$$y = -0,1377(D/T) + 0,824 \quad \dots\dots\dots(4.16)$$

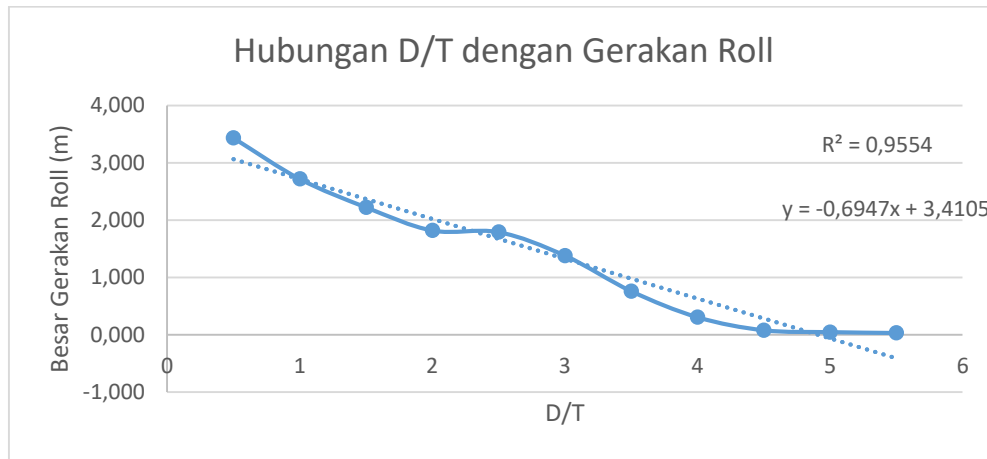
4.6.2. Gerakan Rotasi

KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* dalam kondisi tertambat juga masih mengalami gerak rotasi. Besar amplitudo gerak rotasi disajikan dalam bentuk kurva nilai stokastik pada Gambar 4.43, Gambar 4.44, dan Gambar 4.45 . Pola atau besar amplitudo gerak rotasi (roll, pitch, yaw) pada masing-masing variasi D/T secara umum sama dengan pola pada gerakan translasinya. Nilai tertinggi pada D/T 0,5 dan nilai terendah terletak pada D/T 5,5. Dapat disimpulkan bahwa gerak rotasi struktur *Ocean FarmITS* semakin berkurang pada desain struktur berbentuk pipih atau diameter lebih besar dibandingkan dengan kedalaman jaringnya.

Gambar 4.43 merupakan grafik hubungan D/T terhadap besar amplitudo gerak roll. Jika dilihat dari kurva pada Gambar 4.43, besar amplitudo gerakan roll tertinggi mencapai 3,5⁰ pada D/T 0,5. Kemudian nilai turun rata-rata 20% secara linier hingga D/T 2. Saat D/T 2 hingga D/T 3 besar amplitudo gerakan roll hampir tidak mengalami perubahan. Besar amplitudo gerakan mengalami penurunan lagi setelah D/T 2 ke D/T 4,5 sebesar 44%, kemudian tidak terjadi penurunan yang signifikan lagi hingga D/T 5,5 . Kurva pada Gambar 4.43 di bawah ini memenuhi pendekatan linier dengan R² sebesar 0,95 dan menghasilkan persamaan :

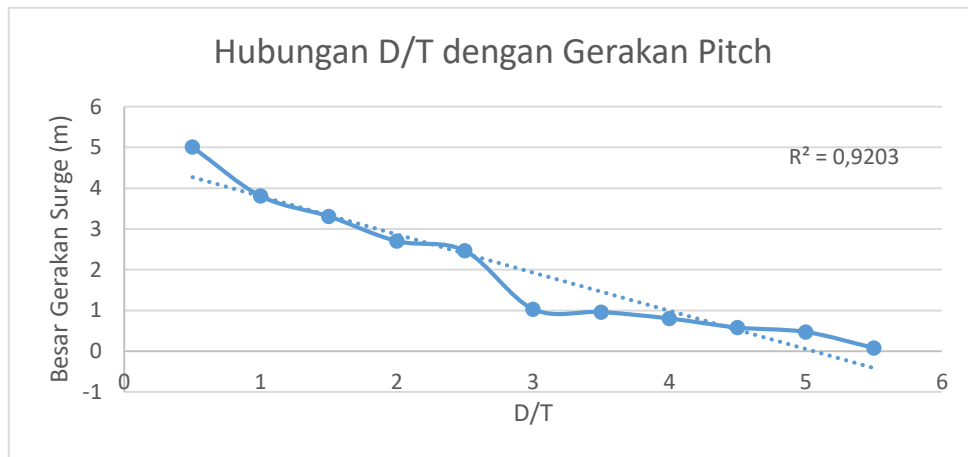
$$y = -0,6947x + 3,4105 \quad \dots\dots\dots(4.17)$$

$$y = -0,6947(D/T) + 3,4105 \quad \dots\dots\dots(4.18)$$

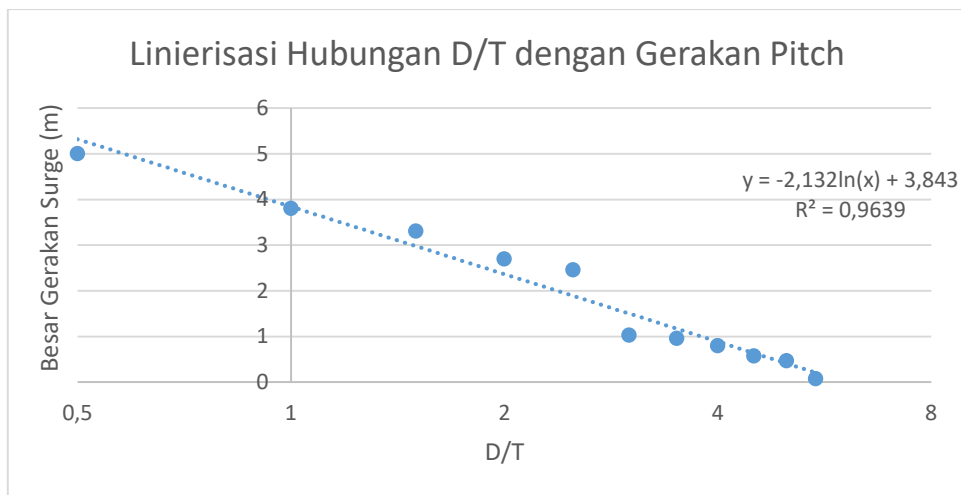


Gambar 4. 43 Hubungan D/T dengan gerakan Roll

Pada gerakan pitch, nilai stokastik amplitudo gerakannya disajikan dalam bentuk kurva pada Gambar 4.44. Kurva menunjukkan pola yang sama dengan pola amplitudo gerak yang telah diulas sebelumnya, yaitu mengalami penurunan ketika D/T nilainya semakin besar. Seperti halnya pada amplitudo gerakan roll, amplitudo gerakan pitch pada D/T 2 dan D/T 2,5 tidak banyak perubahan. Penurunan cukup tajam pada D/T 2,5 ke D/T 3 sebesar 58%.. Kemudian amplitudo gerakan pitch cenderung konstan hingga D/T 5,5. Hal ini mengakibatkan nilai stokastik amplitudo gerakan pitch perlu diolah untuk mendapatkan persamaan linier yang lebih sesuai seperti pada Gambar 4.45.



Gambar 4. 44 Tren Nilai Stokastik Gerakan Pitch



Gambar 4. 45 Linierisasi Hubungan D/T dengan Gerakan Pitch

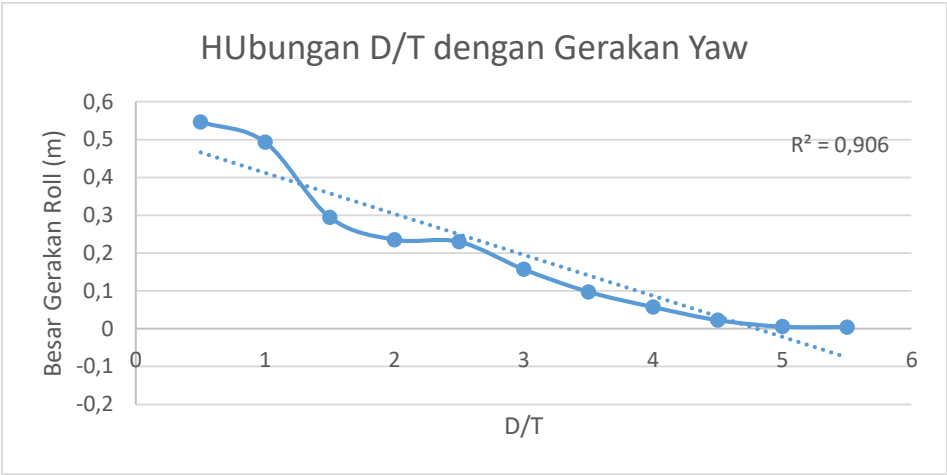
Jika dilihat dari pendekatan R^2 , linierisasi pada Gambar 4.45 menunjukkan nilai R^2 lebih tinggi, sehingga regresi lebih sesuai pada Gambar 4.45, dan didapatkan persamaan :

$$y = \log(-2,132\ln(x) + 3,843) \dots\dots\dots(4.19)$$

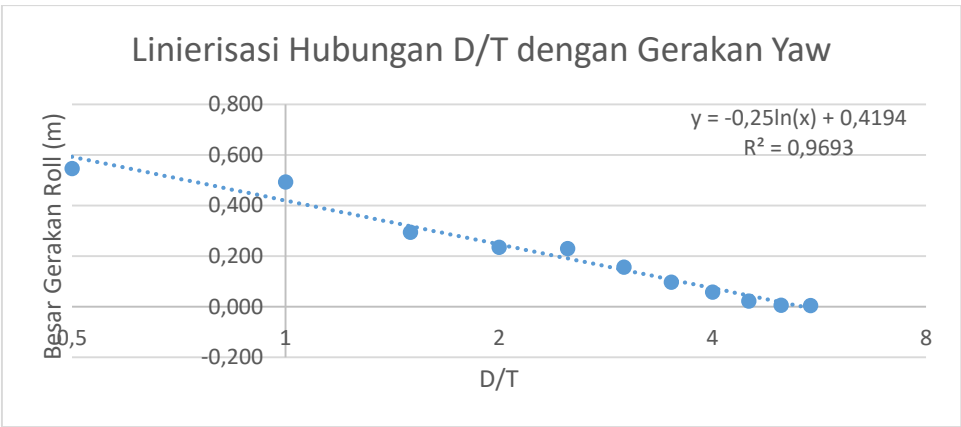
$$y = \log(-2,132\ln(D/T) + 3,843) \dots\dots\dots(4.20)$$

Besar amplitudo Gerakan Yaw pada masing-masing D/T memiliki pola seperti pada Gambar 4.46. Secara umum, amplitudo gerakan yaw sangat kecil dibandingkan dengan gerakan yang lain. Hal ini ditunjukkan pada nilai terbesar D/T 0,5 gerakan yaw hanya mencapai 0,50. Kemudian nilai terus menurun hingga konstan 0,006°

pada D/T 5 dan D/T 5,5. Penuunan terjadi secara linier dari D/T 2,5 hingga D/T 4,5 rata-rata sebesar 40%.



Gambar 4. 46 Hubungan D/T dengan gerakan Yaw



Gambar 4. 47 Linierisasi Hubungan D/T dengan gerakan Yaw

Tren nilai stokastik aplitudo gerak yaw lebih mendekati linier ketika dalam bentuk logaritmik seperti pada Gambar 4.47 dilihat dari nilai R^2 nya. Sehingga didapatkan persamaan :

$$y = \log(-0,25\ln(x) + 0,4194) \dots\dots\dots(4.21)$$

$$y = \log(-0,25\ln(D/T) + 0,4194) \dots\dots\dots(4.22)$$

4.7 Kriteria Operabilitas

Kriteria operabilitas Struktur *Ocean FarmITS* dalam hal ini merupakan standar kenyamanan bagi pekerja dan pengunjung diatas deck. Analisis ini perlu dilakukan untuk mengetahui ukuran D/T berapa yang memenuhi kriteria operabilitas atau kenyamanan. Ketidaknyamanan pada bangunan apung sering terjadi akibat gerakan heave, roll, dan pitch. Bentuk KJA lepas pantai bulat, maka gerakan roll dan pitch cenderung sama, sehingga salah satu kriteria saja yang diambil, yaitu kriteria pada gerakan pitch.

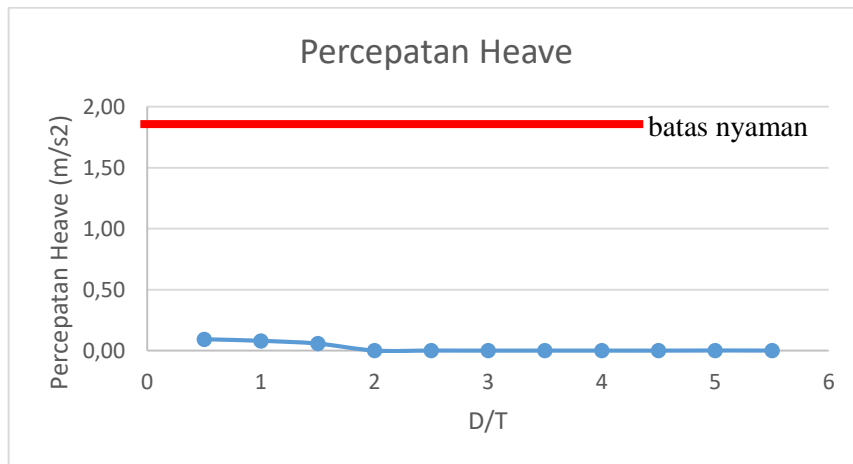
Menurut Olson (1978), kriteria operabilitas bangunan apung yaitu:

1. Percepatan *heave* signifikan $< 0,4 \text{ g}$ ($3,924\text{m/s}^2$) jika di geladak tidak ada orang yang bekerja dan $< 0,2 \text{ g}$ ($1,96 \text{ m/s}^2$) jika di geladak ada orang yang bekerja.
2. Amplitudo Gerakan Pitch rata-rata tidak lebih dari 3° .

4.7.1. Percepatan Heave

Kriteria percepatan heave yang memenuhi standar operabilitas yaitu percepatan *heave* signifikan $< 0,4 \text{ g}$ ($3,924\text{m/s}^2$) jika di geladak tidak ada orang yang bekerja dan $< 0,2 \text{ g}$ ($1,96 \text{ m/s}^2$) jika di geladak ada orang yang bekerja. Percepatan *heave* *Ocean FarmITS* dalam studi kasus ini untuk arah gelombang 0° ataupun 45° pada untuk D/T 0,5 hingga D/T 5,5 masih memenuhi kriteria operabilitas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik 4.48 dan Tabel 4.4 Analisis ini dilakukan pada kondisi tertambat sehingga percepatan gerak heave sangat kecil.

Percepatan heave pada Tabel 4.4 dan grafik 4.48 ini didapatkan dari perhitungan total luas dibawah kurva spektrum respon dikalikan dengan delta omega pangkat 4. Perhitungan ini menggunakan prosedur perhitungan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.2 pada perhitungan nilai stokastik. Percepatan heave dari arah pembebanan 45° relatif lebih besar dibandingkan dengan arah 0° . Hal ini relevan dengan nilai RAO dan spektrum responnya dimana *Ocean FarmITS* memberikan respon gerak lebih besar pada kondisi pembebanan 45° .



Gambar 4. 48 Percepatan Heave pada masing-masing D/T

Tabel 4. 5 Percepatan Heave pada masing-masing D/T

No	D/T	D	T	Percepatan Heave Signifikan
1	0,5	16	30,5	0,0936
2	1	19,85	19,85	0,0808
3	1,5	23	14,8	0,0579
4	2	25	12,5	0,0007
5	2,5	27	10,7	0,0007
6	3	29	9,3	0,0002
7	3,5	30	8,7	0,0004
8	4	32	7,65	0,0003
9	4,5	33	7,2	0,0002
10	5	34	6,75	0,0012
11	5,5	35	6,37	0,0008

4.7.2. Amplitudo Gerakan Pitch

Kriteria operabilitas mensyaratkan bahwa amplitudo gerakan pitch rata-rata tidak lebih dari 3°. Untuk kriteria ini nilai stokastik gerakan pitch pada Gambar 4.49 memberikan informasi bahwa tidak seluruh D/T memenuhi kriteria. Pada D/T 0,5

hingga D/T 1,5 tidak memenuhi kriteria karena amplitudo gerakan pitch rata-ratanya melebihi 3. Untuk D/T 2 dan D/T 2,5 sudah memenuhi kriteria namun masih mendekati 3°. Desain paling aman terletak pada D/T 3 hingga 5,5 karena nilai amplitudo gerakan pitch rata-ratanya masih jauh dari 3°.

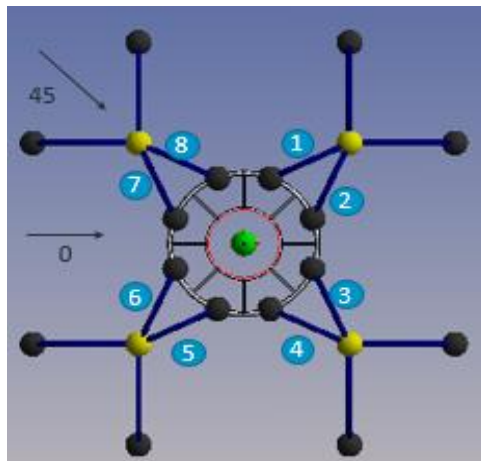


Gambar 4. 49 Nilai Stokastik Gerakan Pitch Rata-Rata

Dari ketiga kriteria operabilitas diatas, D/T yang memenuhi ketiga kriteria kenyamanan terletak pada D/T 3 hingga D/T 5,5. Hal ini bisa dikatakan bahwa desain *Ocean FarmITS* dengan perbandingan D/T 3 hingga D/T 5,5 nyaman untuk orang melakukan pekerjaan maupun berwisata.

4.8 Analisis Tegangan Tali KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Analisis tegangan tali pada struktur *Ocean FarmITS* dilakukan dari arah pembebanan 0° dan 45° seperti pada Gambar 4.50. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis tegangan tali pada struktur *Ocean FarmITS*. Hasil yang disajikan merupakan hasil tension maksimum yang terjadi pada cable 5, 6, 7, dan 8 pada masing-masing variasi model D/T. Hal ini relevan dengan penelitian sebelumnya mengenai tegangan tali tambat pada struktur *Ocean FarmITS*.

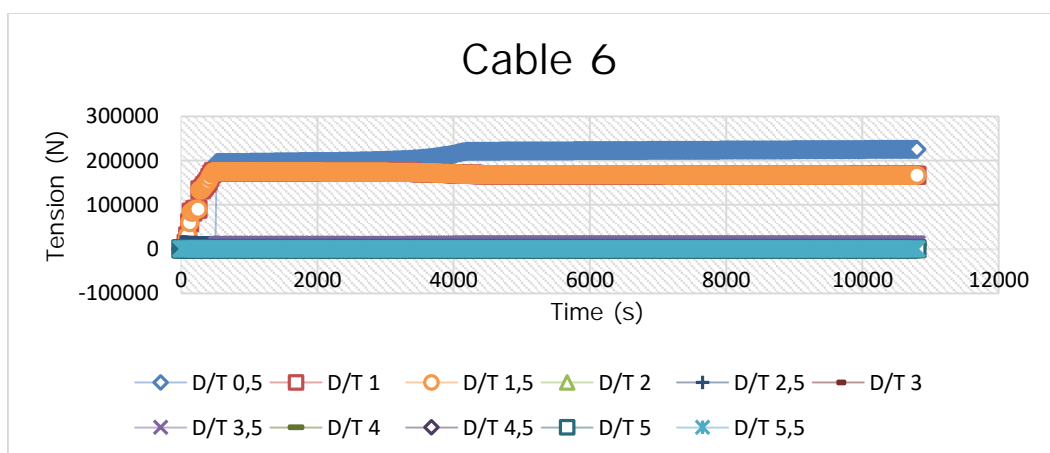


Gambar 4. 50 Konfigurasi Tali Tambat pada KJA Lepas Pantai *Ocean Farm ITS*

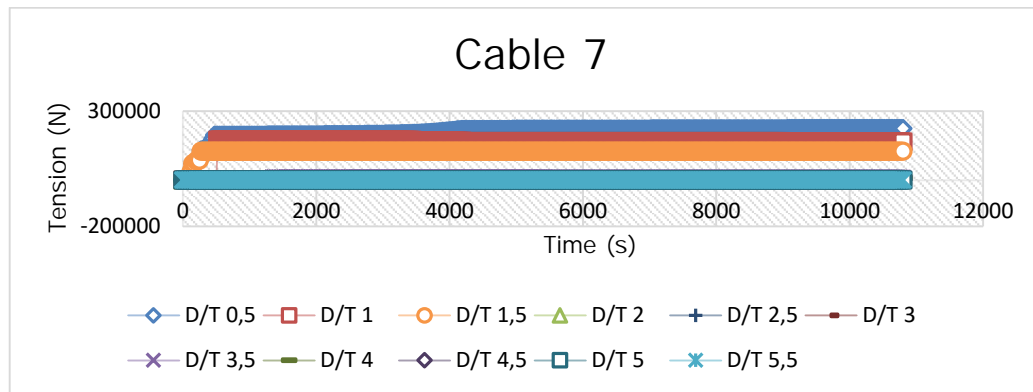
Pada arah pembebanan 0^0 tali tambat yang mengalami tegangan paling besar terletak pada tali 7, 8, 5, dan 6. Sedangkan untuk arah pembebanan 45^0 , tali yang mengalami tegangan paling besar terletak pada tali 7, 8, 6, dan 1. Hal ini terjadi karena tali tersebut yang paling dekat dengan datangnya beban lingkungan.

4.8.1 Arah Pembebanan 0^0

Jika beban lingkungan yang datang dari arah 0^0 , maka tegangan tali maksimum terletak pada cable 6 dan 7. Dapat dilihat dari Gambar 4.51 dan Gambar 4.52 bahwa tegangan yang terjadi pada cable 6 dan 7 memiliki nilai yang mendekati sama. Gambar 4.51 merupakan tegangan yang terjadi pad cable 6 pada masing-masing D/T. Tegangan maksimum yang terjadi mencapai 226 kN pada D/T 0,5. Hal ini juga sama terjadi pada cable 7 seperti pada Gambar 4.52.

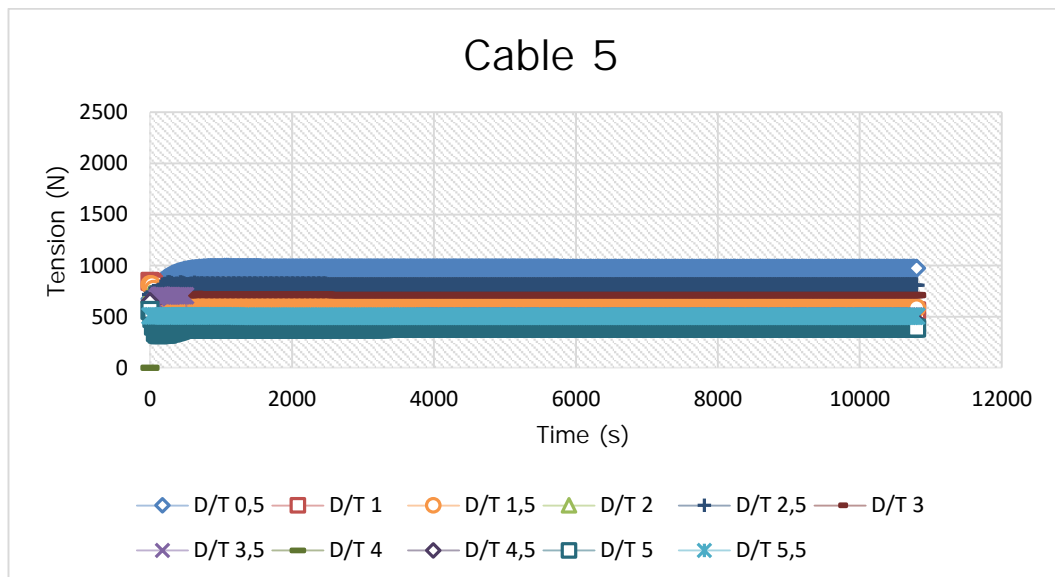


Gambar 4. 51 Tegangan Tali Tambat pada Cable 6

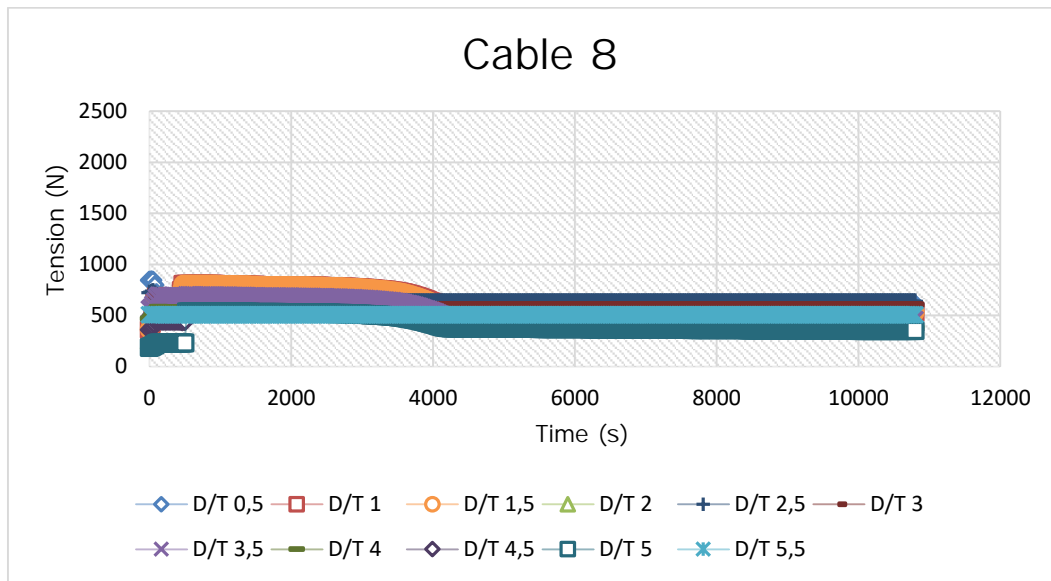


Gambar 4. 52 Tegangan Tali Tambat pada Cable 7

Selanjutnya tali tambat yang mengalami tegangan yang cukup besar terjadi pada tali 5 dan 8. Terlihat pada Gambar 4.53 dan Gambar 4.54, tali 5 dan 8 memiliki kemiripan pola dan nilai pada masing-masing variasi D/T. Hal ini terjadi karena letak tali 5 dan 8 simetris seperti pada tali 7 dan 6. Sehingga besar gaya yang diterima relatif sama.



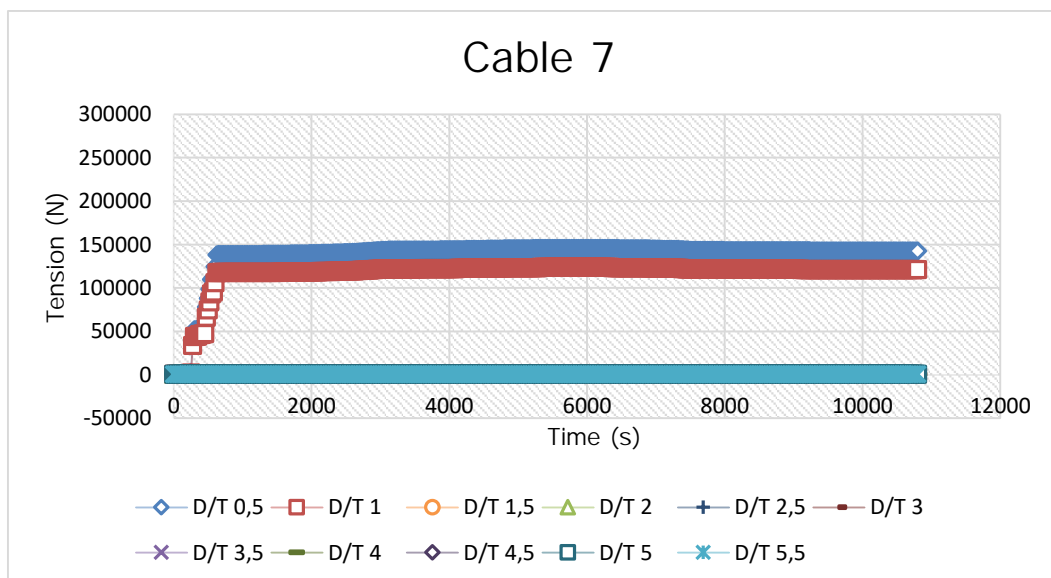
Gambar 4. 53 Tegangan Tali Tambat pada Cable 5



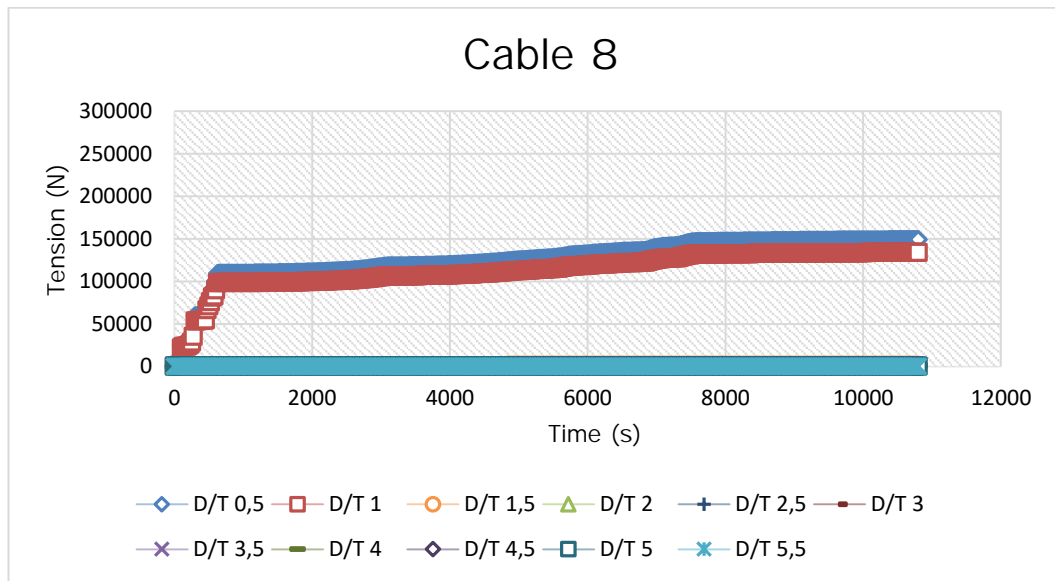
Gambar 4. 54 Tegangan Tali Tambat pada Cable 8

4.8.2 Arah Pembebanan 45^0

Pada arah pembebanan 45^0 tegangan tali maksimum terjadi pada tali 7,8,6 dan 1. Hal ini terjadi karena pada arah beban lingkungan 45^0 , keempat tali ini yang paling mudah terkena beban langsung. Konfigurasi peletakan tali tambat dan arah pembebanannya dapat dilihat pada Gambar 4.50.

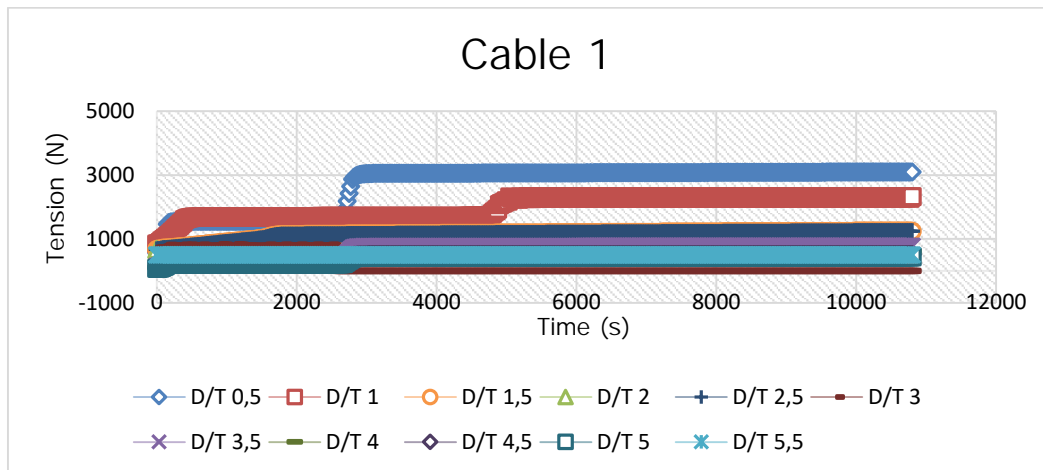


Gambar 4. 55 Tegangan Tali Tambat pada Cable 7

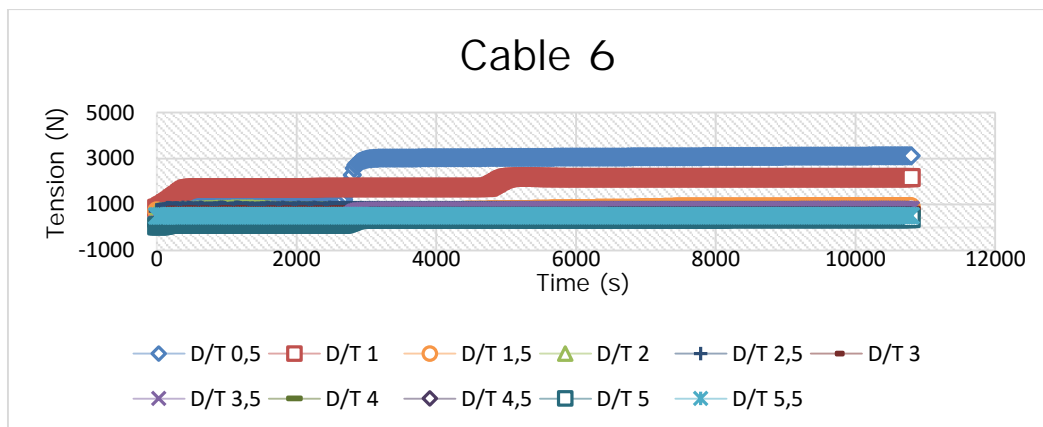


Gambar 4. 56 Tegangan Tali Tambat pada Cable 8

Gambar 4.55 di atas merupakan grafik tegangan maksimum pada tali 7, sedangkan Gambar 4.56 merupakan tegangan maksimum pada tali 8. Tegangan maksimum yang disajikan pada Gambar 4.55 dan Gambar 4.56 diatas merupakan tegangan tali pada masing-masing variasi model D/T. Pada tali 7 tegangan maksimum terjadi pada D/T 0,5 sebesar 145546 N. Pola yang sama dengan tali 8, tegangan terbesar ketika pada model D/T 0,5 sebesar 149230N, namun yang membedakan adalah time stepnya. Pada tali 7 tegangan terbesar terjadi saat simulasi pada 6000 s, sedangkan pada tali 8 tegangan terbesar terjadi setelah simulasi pada time step ke 10.800 s. Setelah itu kedua tali konstan pada nilai maksimumnya.



Gambar 4. 57 Tegangan Tali Tambat pada Cable 1



Gambar 4. 58 Tegangan Tali Tambat pada Cable 6

Analisis selanjutnya dilakukan pada tali 1 dan tali 6. Hal ini perlu dilakukan karena kedua tali tersebut memiliki nilai tegangan yang cukup besar saat arah pembebanan dari 45^0 . Pada Gambar 4.57 disajikan tegangan tali maksimum pada tali 1, sedangkan Gambar 4.58 menyajikan tegangan maksimum pada tali 6 di setiap variasi model D/T. Pada tali 1 tegangan maksimum pada D/T 0,5 sebesar 3106 N dan pada tali 6 memberikan nilai tegangan maksimum yang tidak jauh berbeda, yaitu 3135 N. Namun berbeda pada waktu simulasinya. Pada tali 1 rata-rata tegangan maksimum terjadi saat simulasi ke 2000s, sedangkan pada tali 6 tegangan maksimum rata-rata terjadi pada simulasi ke 3000s, kemudian konstan hingga simulasi ke 10800s

Tabel 4. 6 Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Arah beban 0°

Tension Maksimum Arah 0				
D/T	Tension (N)			
	Cable 5	Cable 6	Cable 7	Cable 8
0,5	983,528	225518,047	226468,203	848,910
1,0	847,396	174969,797	174937,922	805,616
1,5	814,954	160000,000	126468,000	805,616
2,0	828,353	14083,394	11468,000	732,378
2,5	736,898	13264,165	1656,631	737,984
3,0	728,951	12460,980	1242,474	702,844
3,5	712,267	11275,902	1127,946	701,650
4,0	690,899	8054,216	1749,000	584,16
4,5	649,864	736,898	828,316	539,230
5,0	562,242	806,340	813,867	537,077
5,5	507,692	508,278	508,667	508,278

Tabel 4. 7 Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Arah beban 45°

Tension Maksimum Arah 45				
D/T	Tension (N)			
	Cable 1	Cable 6	Cable 7	Cable 8
0,5	3106,680908	3135,22021	145546,813	149230,837
1,0	2328,835693	2189,4646	123714,791	134307,753
1,5	1265,092651	914,313721	850,215576	1630,68018
2,0	1265,092651	808,52948	671,629456	3493,66724
2,5	829,3436279	829,249146	730,819397	698,906006

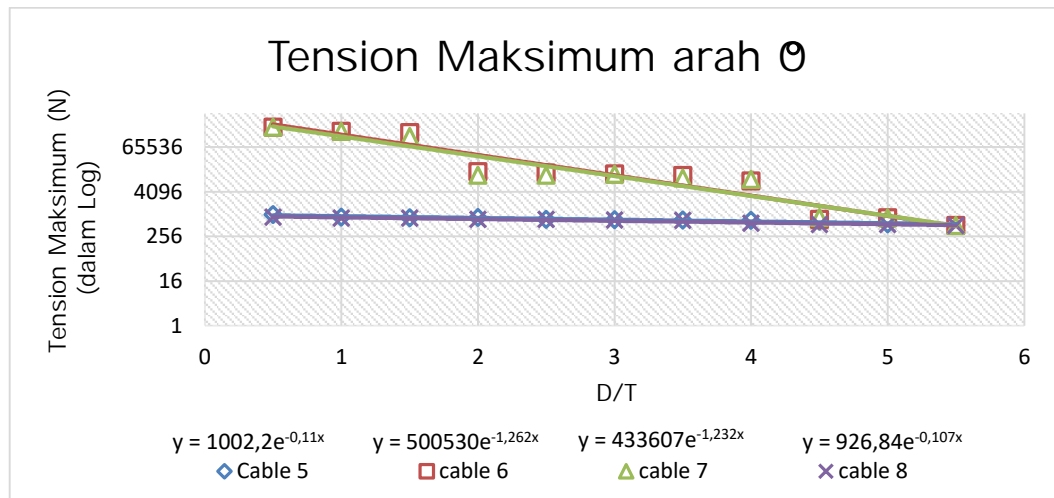
Tabel 4. 6 Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Arah beban 45⁰ (lanjutan)

Tension Maksimum Arah 45				
D/T	Tension (N)			
3,0	829,3436279	829,249146	730,819397	739,455444
3,5	776,6702271	783,805054	605,838745	739,455444
4,0	621,3361816	627,044043	605,838745	698,733447
4,5	517,7801514	522,536702	605,838745	828,315674
5,0	443,8115583	391,902527	605,838745	813,86748
5,5	507,3320923	519,170105	507,454529	507,718079

Dari grafik tegangan maksimum pada tali tambat diatas, dapat dirangkum dalam Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Tabel 4.5 merupakan tegangan maksimum tali tambat yang diakibatkan oleh beban lingkungan dari arah 0°. Sedangkan pada Tabel 4.6 merupakan hasil ringkasan dari tegangan maksimum tali tambat akibat beban lingkungan dari arah 45°.

Jika disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara D/T dengan tegangan tali tambat dapat dilihat seperti pada Gambar 4.59 dan Gambar 4.60. Gambar 4.59 merupakan tegangan tali tambat akibat arah beban lingkungan 0°, sedangkan pada Gambar 4.60 merupakan tegangan yang terjadi akibat arah beban lingkungan 45°. Jika dilihat dari hubungan antara D/T dengan tegangan tali yang terjadi baik dari arah pembebanan 0° ataupun 45°, tegangan tali tambat menurun signifikan hingga 95% dari D/T 0,5 ke D/T 2. Kemudian dari D/T2 hingga D/T5,5 nilai tegangan tetap menurun linier namun rata-rata hanya menurun 30%. Penurunan yang signifikan ini terjadi pada tali tambat yang terkena beban langsung, yaitu pada cable 6,7, dan 8. Sedangkan pada tali yang lain juga terjadi penurunan namun tidak sebesar pada tali 6,7,dan 8.

Setelah dilakukan regresi linier, hubungan antara D/T dengan tegangan tali tambat didapatkan persamaan seperti berikut :



Gambar 4. 59 Tren Nilai Tension Maksimum Arah Beban 0°

Cable 5:

$$\text{Log } y = 1002,2e^{-0,11x}$$

Cable 7:

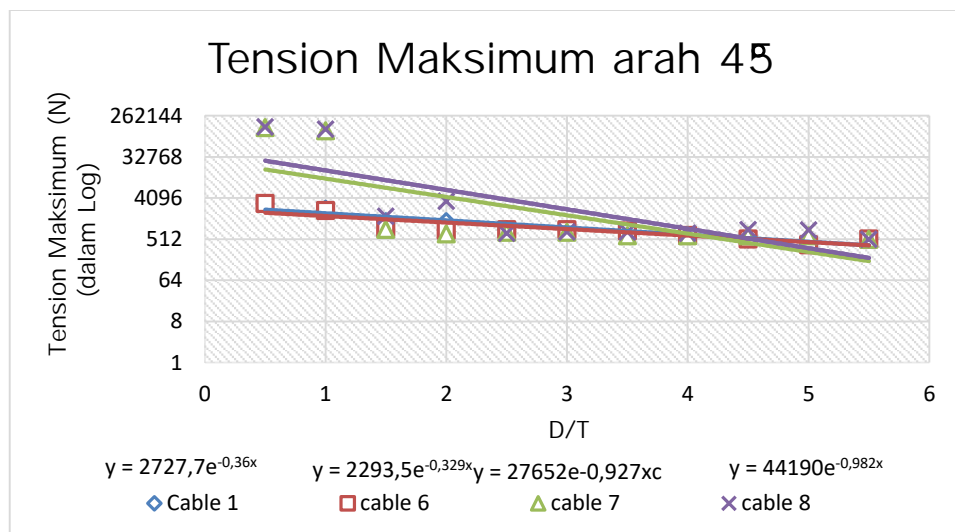
$$\text{Log } y = 433607e^{-1,232x}$$

Cable 6:

$$\text{Log } y = 500530e^{-1,262x}$$

Cable 8:

$$\text{Log } y = 926,84e^{-0,107x}$$



Gambar 4. 60 Tren Nilai Tension Maksimum Arah Beban 45°

Cable 1:

$$\text{Log } y = 2727,7e^{-0,36x}$$

Cable 7:

$$\text{Log } y = 2293,5e^{-0,329x}$$

Cable 6:

$$\text{Log } y = 2293,5e^{-0,329x}$$

Cable 8:

$$\text{Log } y = 44190e^{-0,982x}$$

Hubungan D/T dengan tegangan tali tambat pada Gambar 4.59 dan 4.60 diatas disajikan dalam satuan log untuk mendapatkan persamaan liniernya.

4.9 Analisis Kekuatan Struktur dan Deformasi

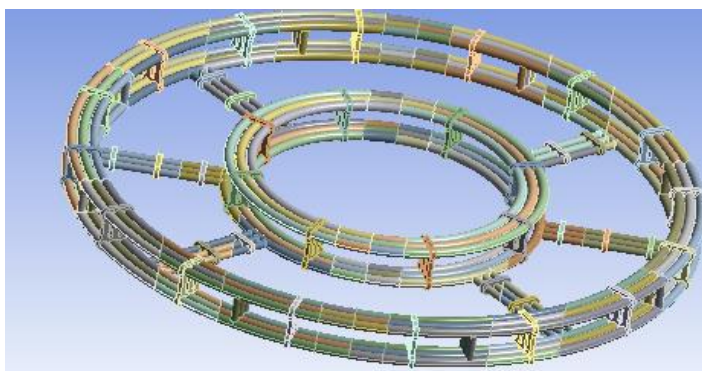
4.9.1 Pemodelan Struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Pada analisis kekuatan dan deformasi dibutuhkan pemodelan struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS* secara detail. Pemodelan detail stuktur KJA dilakukan pada bagian atas permukaan air. Hal ini dilakukan karena pada bagian atas merupakan bagian kritis yang terkena beban tambatan tali secara langsung. Model detail struktur nampak pada Gambar 4.61 di bawah ini. Pemodelan dilakukan pada pipa HDPE struktur utama dan *bracket-bracket* sebagai penguat. Sifat mekanis dari pipa HDPE dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 8 Properti Mekanik HDPE

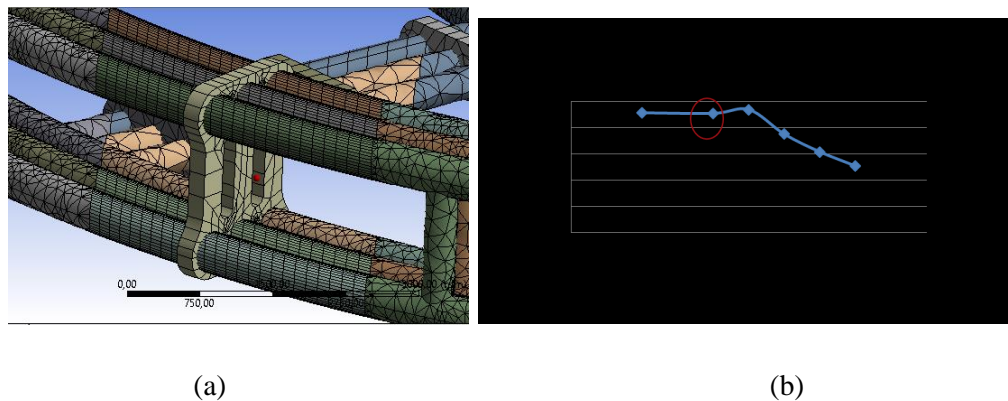
Modulus Young	1,035 N/mm ²
Poisson's Ratio	0,4-0,45
Coefficient of Friction	0,29
Yield Strength	26 MPa
Tensile Strength	31,7 MPa

Sumber : INEOS Olefins & Polimers USA



Gambar 4. 61 Model detail struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*

Simulasi untuk mendapatkan kekuatan struktur dilakukan dengan Metode Elemen Hingga. Untuk itu model struktur pada Gambar 4.61 perlu dilakukan meshing.



Gambar 4. 62 (a) Meshing pada Model KJA Lepas Pantai (b) *Mesh Sensitivity Analysis*

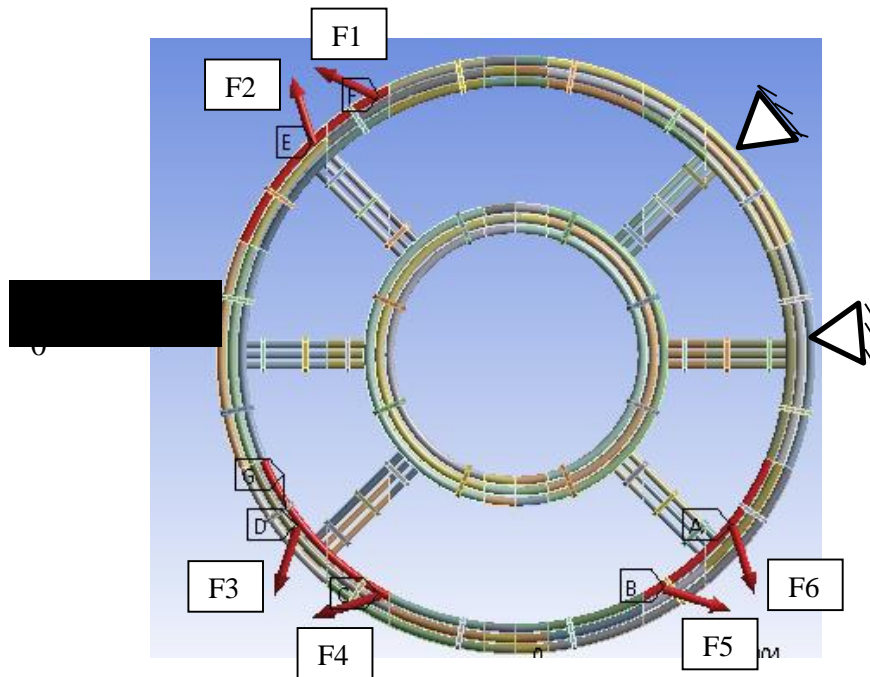
Gambar 4.62a merupakan model struktur dari KJA Lepas Pantai yang telah dilakukan meshing. Meshing dilakukan dengan membagi area kritis dan area non kritis. Area kritis merupakan area yang terkena gaya langsung, sedangkan area non kritis merupakan area yang tidak terkena gaya langsung atau area yang jauh dari pusat gaya. Pada area kritis dibutuhkan ukuran meshing yang padat agar didapatkan hasil yang valid. Pada area kritis meshing dilakukan dengan menggunakan elemen solid dengan jenis elemen 3-D Hexahedron. Tipe elemen ini dipilih karena lebih fleksibel mendekati bentuk struktur KJA Lepas Pantai. Ukuran elemen yang dipakai untuk area kritis yaitu 0,1 mm sebagaimana didapatkan dari hasil analisis sensitivitas meshing ditunjukkan pada Gambar 4.62b. Terlihat pada Gambar 4.62b nilai tegangan mulai stabil ketika ukuran mesh 1 mm, sehingga ukuran mesh ini merupakan ukuran optimum untuk melakukan simulasi tegangan dan deformasi.

4.9.2 Kondisi Pembebanan

Analisis kekuatan struktur pada KJA lepas pantai *Ocean FarmITS* dilakukan pada seluruh variasi model D/T. Analisis kekuatan menggunakan simulasi Metode Elemen Hingga. Dalam metode elemen hingga dibutuhkan pendefinisian kondisi pembebanan dan kondisi batas. Kondisi pembebanan adalah kondisi dimana struktur mendapatkan beban berupa gaya tarik atau gaya tekan. Dalam kasus ini struktur KJA mendapatkan gaya tarik dari tali tambat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.63. F1 merupakan gaya tarik dari cable 8, F2 merupakan gaya tarik dari cable 7, F3 merupakan gaya tarik dari cable 6, F4

merupakan gaya tarik dari cable 5, F5 merupakan gaya tarik dari cable 4, dan F6 merupakan gaya tarik dari cable 3.

Pada bagian ujung dari Gambar 4.63 terdapat tumpuan pin pada model KJA lepas pantai. Tumpuan ini diaplikasikan karena pada lokasi tersebut tali tambat terkena gaya kecil sekali sehingga cenderung pasif.



Gambar 4. 63 Kondisi Pembebanan dan Kondisi Batas Model Struktur KJA

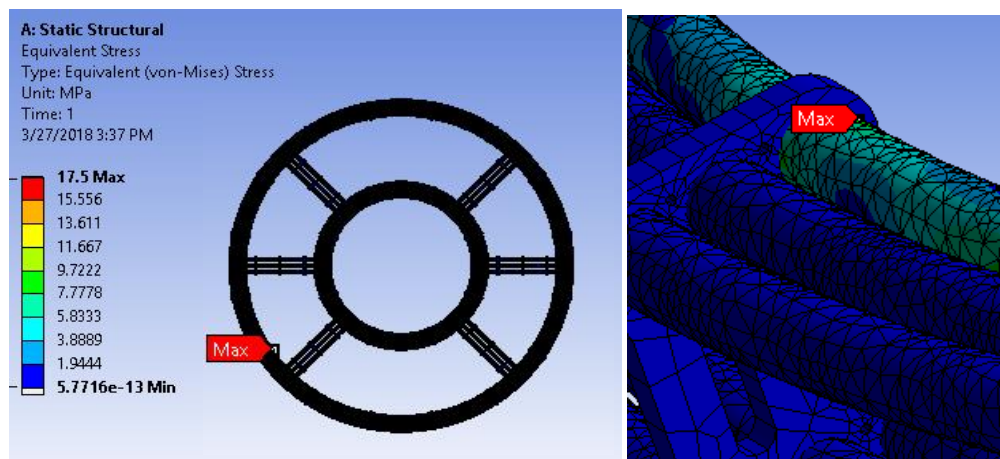
Pada Tabel 4.8 disajikan input masing- masing gaya atau beban pada masing-masing model KJA. Besar gaya F1, F2, F3, F4, F5, dan F6 didapatkan dari tegangan tali maksimum dari analisis tegangan tali tambat pada Sub Bab 4.8. Analisis kekuatan statis struktur dilakukan pada kondisi pembebanan 0^0 seperti pada Gambar 4.63. Hal ini dilakukan karena dari semua arah pembebanan, kondisi pembebanan 0^0 menghasilkan beban tegangan tali tambat terbesar.

Tabel 4. 9 Input Gaya Tarik Tali Tambat pada masing-masing D/T

No.	D/T	Force (N)						Time (s)
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	
1	0,5	975,18	225518,05	226468,20	612,90	301,92	295,13	10800
2	1,0	567,02	174969,80	174937,92	805,00	396,54	387,63	465
3	1,5	592,20	133461,27	126468,00	805,58	396,83	387,91	525
4	2,0	809,35	14083,39	11468,00	806,92	397,49	388,56	10800
5	2,5	638,55	11493,92	11332,14	638,61	314,58	307,51	2500
6	3,0	712,35	12460,00	12141,58	702,84	346,22	338,44	2500
7	3,5	493,81	9836,78	9571,62	502,06	247,31	241,77	1350
8	4,0	506,72	8000,01	8746,90	583,76	287,56	281,09	525
9	4,5	559,55	736,90	828,32	539,23	265,63	259,65	10650
10	5,0	507,09	806,34	813,80	537,08	264,57	258,62	10500
11	5,5	380,23	508,27	508,62	389,97	192,10	187,78	10450

4.9.3 Tegangan dan Deformasi Maksimum

Secara umum tegangan maksimum terletak di lokasi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.64 di bawah ini. Pada Gambar 4.64 ini ditunjukkan tegangan maksimum sebesar 17,5 Mpa untuk D/T 1. Detail lokasi stress maksimum seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.64 di bawah ini, terletak pada pontoon ring dan bracket.



Gambar 4. 64 Tegangan Maksimum pada Struktur KJA Lepas Pantai

Analisis tegangan dan deformasi maksimum dilakukan pada masing-masing ukuran D/T . Tabel 4.9 menginformasikan tegangan dan deformasi maksimum pada masing masing variasi ukuran D/T. Lokasi tegangan dan deformasi maksimum pada masing – masing ukuran D/T dapat dilihat pada Tabel 4.10. Nilai deformasi yang sangat kecil ini telah divalidasikan dengan penelitian ysng sebelumnya telah dilakukan oleh Huang, et.al (2016). Penelitian dilakukan pada deformasi collar cage dimana untuk ketebalan pipa HDPE 20mm, deformasi yang terjadi adalah 0,5% nya atau 0,1 mm. Hasil deformasi maksimum pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.65 memberikan informasi bahwa D/T yang masih memenuhi standar deformasi maksimum adalah D/T 2 hingga D/T 5,5. Sedangkan untuk standar kekuatan berdasarkan tegangan divalidasikan dengan yield strength dari material HDPE PE 100 yaitu 26 Mpa. Struktur dikatakan kuat atau aman jika tegangan yang terjadi tidak melebihi 95% dari nilai yield strength materialnya. Dilihat dari tabel 4.9 desain KJA Lepas Pantai yang tidak memenuhi standar kekuatan atau tidak aman yaitu desain D/T 0,5.

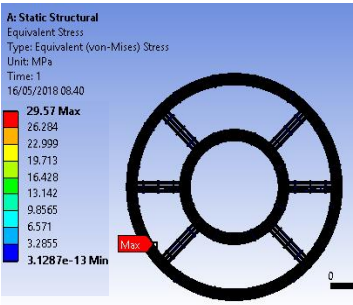
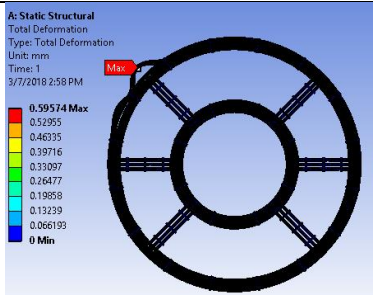
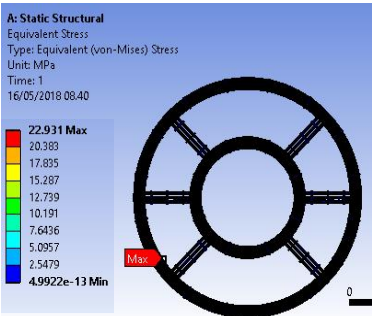
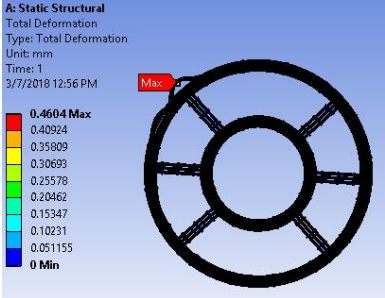
Tabel 4. 10 Stress dan Deformasi Maksimum pada masing-masing model D/T

No.	D/T	Stress (Mpa)	Deformasi (mm)
1	0,5	29,57	0,59
2	1	22,9	0,46
3	1,5	17,5	0,33
4	2	1,89	0,03

Tabel 4. 11 Stress dan Deformasi Maksimum pada masing-masing model D/T (lanjutan)

No.	D/T	Stress (Mpa)	Deformasi (mm)
5	2,5	1,12	0,03
6	3	1,67	0,032
7	3,5	1,51	0,02
8	4	1,12	0,02
9	4,5	0,23	0,02
10	5	0,23	0,0025
11	5,5	0,23	0,0023

Tabel 4. 12 Lokasi Tegangan dan Defotmasi Maksimum pada masing-masing D/T

No	D/T	Von Mises Stress	Deformasi
1	0,5	 <p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40 29.57 Max 26.284 22.999 19.713 16.428 13.142 9.8565 6.571 3.2855 3.1287e-13 Min</p>	 <p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 2:58 PM 0.59574 Max 0.52955 0.46395 0.39716 0.33097 0.26477 0.19858 0.13239 0.066193 0 Min</p>
2	1	 <p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40 22.931 Max 20.383 17.835 15.287 12.739 10.191 7.6436 5.0957 2.5479 4.9922e-13 Min</p>	 <p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 12:56 PM 0.4604 Max 0.40924 0.35809 0.30693 0.25578 0.20462 0.15347 0.10231 0.051155 0 Min</p>

No	D/T	Von Mises Stress	Deformasi
3	1,5	<p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40</p>	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 3:27 PM</p>
4	2	<p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40</p>	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 1:22 PM</p>
5	2,5	<p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40</p>	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 1:37 PM</p>
6	3	<p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 16/05/2018 08:40</p>	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 3/7/2018 2:00 PM</p>

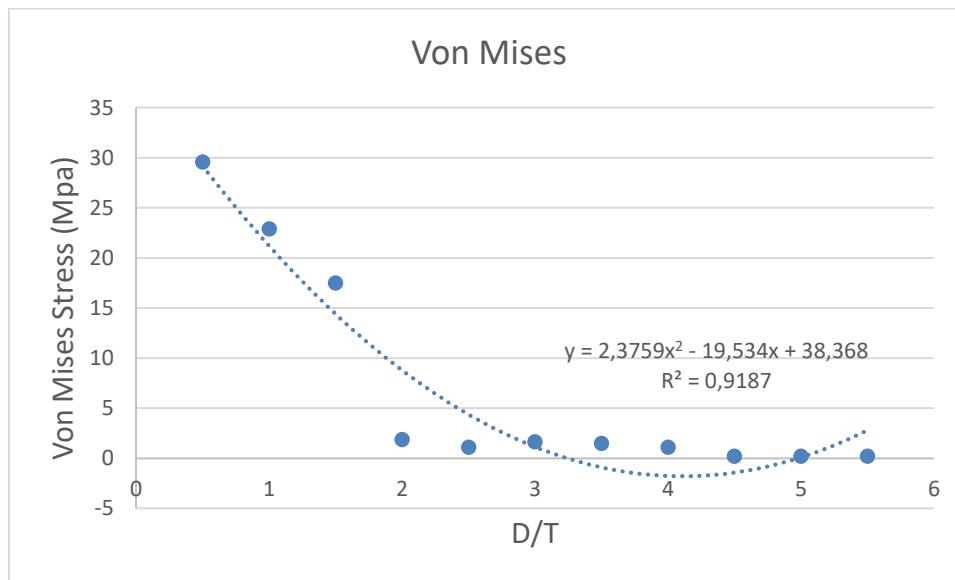
No	D/T	Von Mises Stress	Deformasi
8	4		
9	4,5		
10	5		
11	5,5		

Grafik pada Gambar 4.65 di bawah ini merupakan pola dari nilai stress maksimum yang terjadi pada masing-masing ukuran D/T. Dengan input boundary condition yang sama, serta lokasi yang terkena gaya juga sama, masing-masing ukuran D/T

memberikan respon yang berbeda. Hal ini dikarenakan besar beban dan circumference atau keliling dari pontoon ring pada masing-masing D/T yang berbeda. Semakin D/T besar, maka responnya semakin kecil. Jika disajikan dalam model matematis, menghasilkan persamaan polinomial seperti berikut :

$$y = 2,3759x^2 - 19,534x + 38,368$$

$$y = 2,3759(D/T)^2 - 19,534(D/T) + 38,368 \dots\dots\dots(4.24)$$

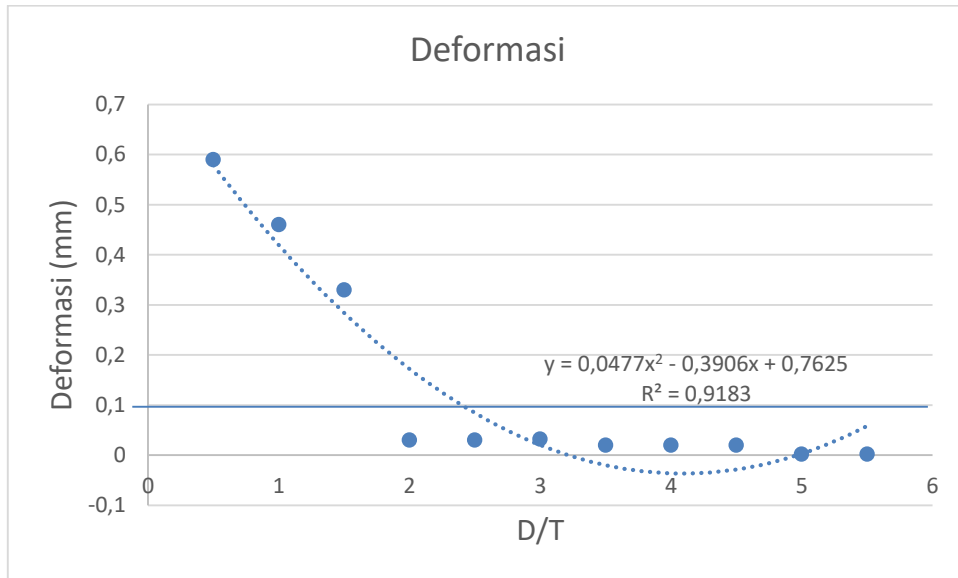


Gambar 4. 65 Hubungan Variasi Ukuran D/T terhadap Tegangan Von Mises

Grafik pada Gambar 4.66 di bawah ini merupakan pola deformasi dari masing-masing D/T. Identik dengan stress maksimumnya, deformasi maksimum terbesar terletak pada ukuran D/T terkecil. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Huang et.al (2016) bahwa circumference atau dalam hal ini keliling *pontoon ring* berpengaruh terhadap deformasinya. Semakin besar keliling pontoon ring, semakin kecil gaya yang diterima, maka semakin kecil pula deformasi yang terjadi. Grafik 4.66 ini jika dimodelkan matematisnya menghasilkan persamaan polinomial sebagai berikut :

$$y = 0,0477x^2 - 0,3906x + 0,7625 \quad \dots\dots\dots(4.25)$$

$$y = 0,0477(D/T)^2 - 0,3906(D/T) + 0,7625 \quad \dots\dots\dots(4.26)$$



Gambar 4. 66 Hubungan Variasi Ukuran D/T terhadap Deformasi

Hubungan D/T dengan hasil tegangan dan deformasi membentuk kurva polinomial. Penurunan signifikan terjadi pada D/T 0,5 ke D/T 2 sebesar 94%. Kemudian penurunan nilai tegangan dan deformasi tidak signifikan pada D/T 2 hingga D/T 5,5. Hal ini dapat dikatakan pula kenaikan rasio dari D/T 2 hingga D/T 5,5 kurang berpengaruh terhadap tegangan dan deformasi struktur KJA Lepas Pantai *Ocean FarmITS*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi ukuran diameter dan kedalaman jaring (D/T) pada volume yang sama sangat berpengaruh terhadap respon gerak yang terjadi. Nilai D/T semakin besar, maka struktur KJA semakin pipih bentuknya. Semakin pipih bentuk KJA Lepas pantai maka respon gerak KJA semakin kecil. Hubungan D/T dengan respon gerak pada kondisi lingkungan adalah linier. Penurunan terjadi pada gerakan translasi dan rotasi mencapai 75% pada D/T 0,5 hingga D/T 3. Pada D/T 3 hingga D/T 5,5 penurunan respon gerak relatif kecil. Hal ini dapat dikatakan bahwa kenaikan nilai rasio dari D/T 3 hingga D/T 5,5 kurang berpengaruh terhadap respon gerak KJA lepas pantai.
2. Variasi ukuran diameter dan kedalaman jaring (D/T) pada volume yang sama sangat berpengaruh terhadap tegangan tali tambat. Nilai D/T semakin besar, tegangan tali tambat semakin kecil. Hubungan D/T dengan tegangan tali tambat pada kondisi lingkungan adalah menurun secara eksponensial. Penurunan signifikan mencapai 90% antara D/T 0,5 ke D/T 4. Penurunan tegangan sebesar ini terjadi rata-rata pada tali tambat yang aktif atau terkena beban langsung, yaitu tali 6,7, dan 8.
3. Variasi ukuran diameter dan kedalaman jaring (D/T) sangat berpengaruh terhadap kekuatan statis struktur KJA. Hal ini berkaitan dengan respon gerak dan tegangan tali tambat pada KJA lepas pantai. Semakin nilai D/T besar sehingga bentuknya semakin pipih, maka kekuatan semakin besar. Hal ini ditunjukkan dengan semakin kecil tegangan dan deformasi yang terjadi ketika bentuk struktur semakin pipih. Hubungan D/T dengan hasil tegangan dan deformasi adalah polinomial. Penurunan signifikan terjadi pada D/T 0,5 ke D/T 2 sebesar 94%. Kemudian penurunan nilai tegangan dan deformasi tidak signifikan pada D/T 2 hingga D/T 5,5. Hal ini dapat dikatakan pula kenaikan

rasio dari D/T 2 hingga D/T 5,5 kurang berpengaruh terhadap tegangan dan deformasi struktur.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran dari penulis yaitu :

1. Pemodelan jaring hendaknya dilakukan dengan lebih realistis menggunakan *software* yang memadai.
2. Hendaknya dilakukan studi parametrik untuk analisis dinamis struktur atau *fatigue analysis*.
3. Analisis *shagging hogging* sebaiknya dilakukan pada struktur KJA Lepas Pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, 2004, *Guide For Building and Classing Floating Production Installations*, USA: American Bureau of Shipping.
- API RP 2SK 3th edition, 2005, *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*, Washington DC.
- API RP 2A-WSD 21st Edition, 2000. *Recommended Practice for Planning, Design, and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*. USA.
- Athoillah, M. R., 2017. Konsep Inovasi Desain Aquaculture System untuk Ikan Tuna di Laut Indonesia, Surabaya: ITS Surabaya.
- Bhattacharyya. R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Cardia, F., Lovatelli, A., 2015. Aquaculture operations in floating HDPE cages. Rome : FAO and Ministry of Agriculture of the Kingdom of Saudi Arabia.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational .
- Decew, et.al. (2010). Modeling of dynamic behavior of a tunggal-point moored submersible. *ELsevier*, 38-45.
- Djatzmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- ECMWF, 2016. <https://www.ecmwf.int/> (10 Mei 2016).
- ESR-OSCAR, 2017. http://www.esr.org/oscar_index.html (15 Juni 2017).
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structuresl* . United Kingdom : Cambridge University Press.

- FAO. 2006. *The state of world fisheries and Aquaculture : Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*; p. 162.
- GEBCO,2017,http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data / (15 Juni 2017).
- Goudey, C.A., 2009. *Practical Aspects of Offshore Aquaculture System Design*. In Presentation at the World Aquaculture Society: Aquaculture America 2009. Seattle. America.
- Huang, X. et.al. (2016). Numerical Simulation Of Deformations And Forces Of A Floating Fish Cage Collar In Waves. *Elsevier*, 111-119.
- Indiyono, P. 2010. *Hidrodinamika Dasar Bangunan Laut*. Surabaya: ITS Press.
- Kim, et.al., (2011). Automatic submerging and surfacing performances of model submersible fish. *Elsevier*, 74-86.
- Kristiansen, T., Faltinsen,O.M. (2012). Modelling of current loads on *Aquaculture net Cages*. *Elsevier*, 218-235.
- Kristiansen, T., Faltinsen,O.M. (2014). Experimental and numerical study of an *Aquaculture net Cage*. *Elsevier*, 1-26.
- Olivares, Alfredo E.V. "Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico." The United Nation University, 2003
- Polyform-AS, Polyform-The Originator of the Modern Plastic *Buoy*, Norway: Polyform AS.
- Popov, E. P., 1996, *Mekanika Teknik*, Jakarta: Erlangga
- Ronney, P. D. (2014). *Basic of Mechanical Engineering*. California: University of Southern California.
- Shainee, M.et.al., (2013). Investigation of Self-Semisubmersible SPM Cages System in Random Waves. *Elsevier*.

- Suryanto, 2005. Karakteristik Tali Jaring Jenis Polyethylene, Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Vielma,J.,Kankainen,M. 2013. *Offshore Fish farming Technology in Baltic Sea Production Conditions*. Part-financed by the European Union (Baltic Sea Region
- Xu, et.al. (2013). Analysis of hydrodynamic behavior of a submersible net *Cage* and . *Elsevier*, 155-167.
- Xu, et.al. (2013). Analysis of hydrodynamic behaviors of multiple net *Cages*. *Elsevier*, 222-236.
- Xu, et.al. (2013). Fatigue analysis of *mooring* system for net *Cage* under random loads. *Elsevier*, 59-68.
- Xu, et.al. (2014). Numerical study of a self-submersible tunggal-point *mooring* gravity. *Elsevier*, 66-79.

LAMPIRAN

[illegible][illegible]

1. **Introduction**

2. **Method**

3. **Results**

4. **Discussion**

5. **Conclusion**

6. **References**

7. **Appendix**

8. **Table 1**

9. **Table 2**

10. **Table 3**

11. **Table 4**

12. **Table 5**

13. **Table 6**

14. **Table 7**

15. **Table 8**

16. **Table 9**

17. **Table 10**

18. **Table 11**

19. **Table 12**

20. **Table 13**

21. **Table 14**

22. **Table 15**

23. **Table 16**

24. **Table 17**

25. **Table 18**

26. **Table 19**

27. **Table 20**

28. **Table 21**

29. **Table 22**

30. **Table 23**

31. **Table 24**

32. **Table 25**

33. **Table 26**

34. **Table 27**

35. **Table 28**

36. **Table 29**

37. **Table 30**

38. **Table 31**

39. **Table 32**

40. **Table 33**

41. **Table 34**

42. **Table 35**

43. **Table 36**

44. **Table 37**

45. **Table 38**

46. **Table 39**

47. **Table 40**

48. **Table 41**

49. **Table 42**

50. **Table 43**

51. **Table 44**

52. **Table 45**

53. **Table 46**

54. **Table 47**

55. **Table 48**

56. **Table 49**

57. **Table 50**

58. **Table 51**

59. **Table 52**

60. **Table 53**

61. **Table 54**

62. **Table 55**

63. **Table 56**

64. **Table 57**

65. **Table 58**

66. **Table 59**

67. **Table 60**

68. **Table 61**

69. **Table 62**

70. **Table 63**

71. **Table 64**

72. **Table 65**

73. **Table 66**

74. **Table 67**

75. **Table 68**

76. **Table 69**

77. **Table 70**

78. **Table 71**

79. **Table 72**

80. **Table 73**

81. **Table 74**

82. **Table 75**

83. **Table 76**

84. **Table 77**

85. **Table 78**

86. **Table 79**

87. **Table 80**

88. **Table 81**

89. **Table 82**

90. **Table 83**

91. **Table 84**

92. **Table 85**

93. **Table 86**

94. **Table 87**

95. **Table 88**

96. **Table 89**

97. **Table 90**

98. **Table 91**

99. **Table 92**

100. **Table 93**

101. **Table 94**

102. **Table 95**

103. **Table 96**

104. **Table 97**

105. **Table 98**

106. **Table 99**

107. **Table 100**

108. **Table 101**

109. **Table 102**

110. **Table 103**

111. **Table 104**

112. **Table 105**

113. **Table 106**

114. **Table 107**

115. **Table 108**

116. **Table 109**

117. **Table 110**

118. **Table 111**

119. **Table 112**

120. **Table 113**

121. **Table 114**

122. **Table 115**

123. **Table 116**

124. **Table 117**

125. **Table 118**

126. **Table 119**

127. **Table 120**

128. **Table 121**

129. **Table 122**

130. **Table 123**

131. **Table 124**

132. **Table 125**

133. **Table 126**

134. **Table 127**

135. **Table 128**

136. **Table 129**

137. **Table 130**

138. **Table 131**

139. **Table 132**

140. **Table 133**

141. **Table 134**

142. **Table 135**

143. **Table 136**

144. **Table 137**

145. **Table 138**

146. **Table 139**

147. **Table 140**

148. **Table 141**

149. **Table 142**

150. **Table 143**

151. **Table 144**

152. **Table 145**

153. **Table 146**

154. **Table 147**

155. **Table 148**

156. **Table 149**

157. **Table 150**

158. **Table 151**

159. **Table 152**

160. **Table 153**

161. **Table 154**

162. **Table 155**

163. **Table 156**

164. **Table 157**

165. **Table 158**

166. **Table 159**

167. **Table 160**

168. **Table 161**

169. **Table 162**

170. **Table 163**

171. **Table 164**

172. **Table 165**

173. **Table 166**

174. **Table 167**

175. **Table 168**

176. **Table 169**

177. **Table 170**

178. **Table 171**

179. **Table 172**

180. **Table 173**

181. **Table 174**

182. **Table 175**

183. **Table 176**

184. **Table 177**

185. **Table 178**

186. **Table 179**

187. **Table 180**

188. **Table 181**

189. **Table 182**

190. **Table 183**

191. **Table 184**

192. **Table 185**

193. **Table 186**

194. **Table 187**

195. **Table 188**

196. **Table 189**

197. **Table 190**

198. **Table 191**

199. **Table 192**

200. **Table 193**

201. **Table 194**

202. **Table 195**

203. **Table 196**

204. **Table 197**

205. **Table 198**

206. **Table 199**

207. **Table 200**

208. **Table 201**

209. **Table 202**

210. **Table 203**

211. **Table 204**

212. **Table 205**

213. **Table 206**

214. **Table 207**

215. **Table 208**

216. **Table 209**

217. **Table 210**

218. **Table 211**

219. **Table 212**

220. **Table 213**

221. **Table 214**

222. **Table 215**

223. **Table 216**

224. **Table 217**

225. **Table 218**

226. **Table 219**

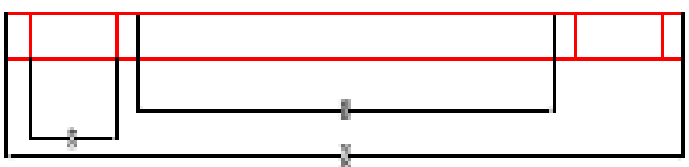
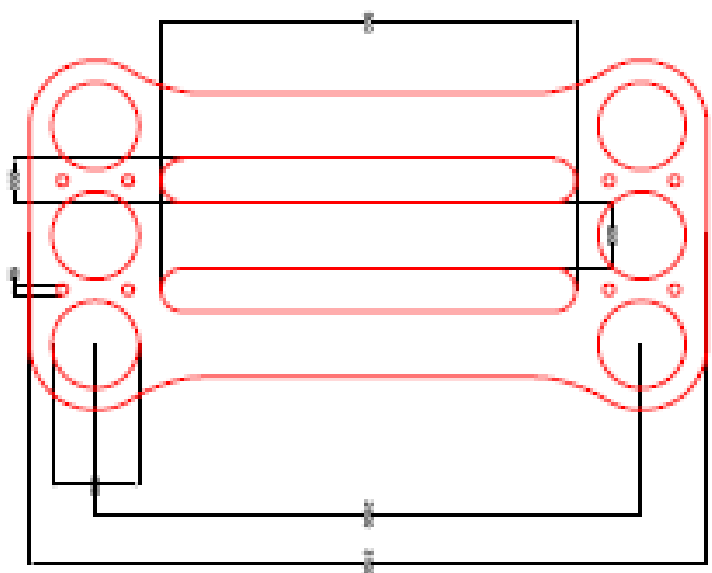
227. **Table 220**

228. **Table 221**

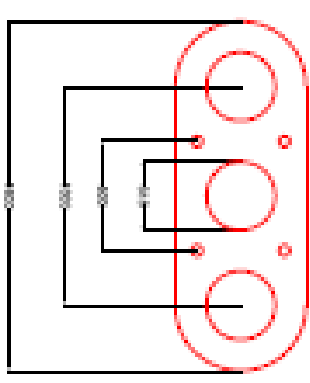
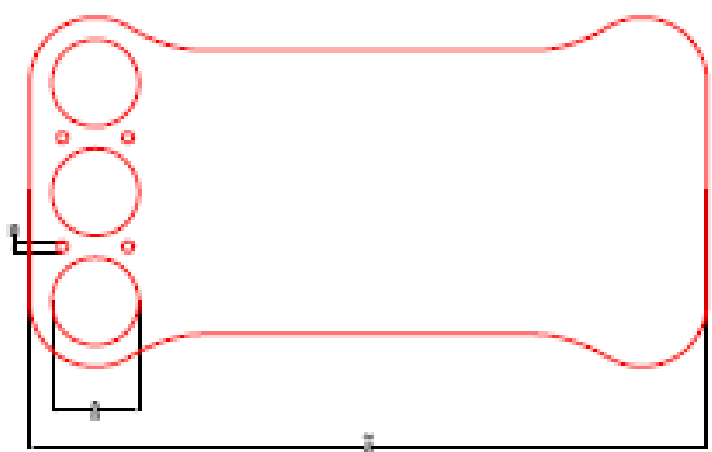
229. <

[illegible]

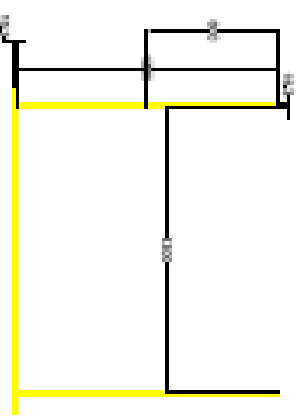
GENERAL ASSIGNMENT		DATE	TIME
NAME	NO.	DATE	TIME
NAME	NO.	DATE	TIME
NAME	NO.	DATE	TIME
NAME	NO.	DATE	TIME



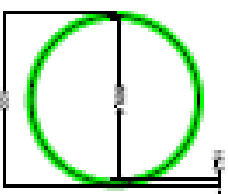
BRACKET



RAILING & WALKWAY

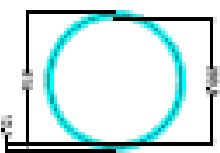


POINTON RING OUTSIDE



SCALE 1:2

HORIZONTAL POINTON



SCALE 1:2

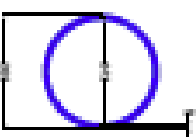
POINTON INSIDE BRACKET

SHAPER ROPE (STEEL WIRE)



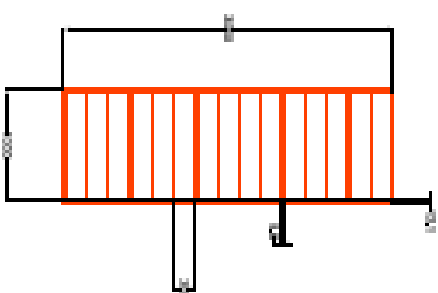
SCALE 1:2

SHAPER TUBE (STEEL)

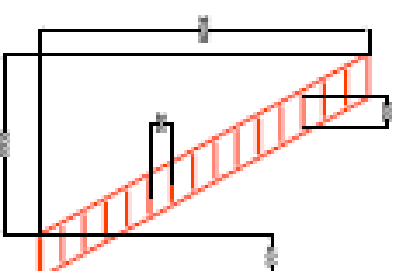


SCALE 1:2

UNIBELL PRAVE



LADDER



MAIN DIMENSION DRAWING

- 100mm
- 150mm
- 200mm
- 250mm
- 300mm
- 350mm
- 400mm
- 450mm
- 500mm
- 550mm
- 600mm
- 650mm
- 700mm
- 750mm
- 800mm
- 850mm
- 900mm
- 950mm
- 1000mm

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Perkiraan Tinggi Gelombang Ekstrem menggunakan Longterm Analysis

menggunakan asumsi distribusi weibull (1951) (Djatriko, 2012)

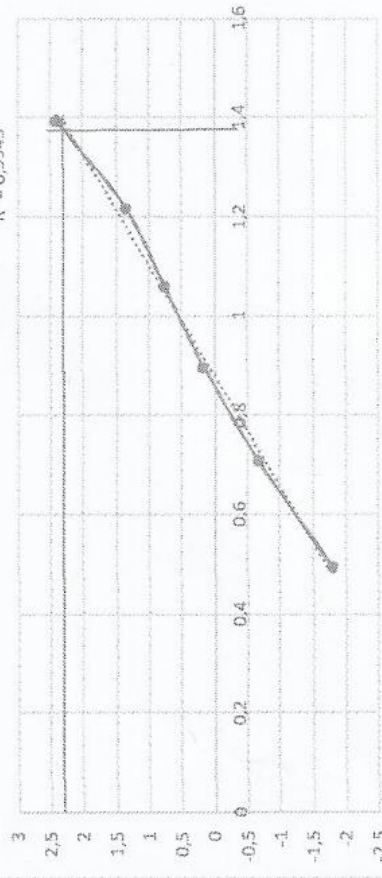
Hs (m)	Tp (s)										jumlah	kumulatif
	5,75-7,8	14,74-16,39	11,61-12,45	12,46-13,49	29-10,02	10,8-11,6	8,57-9,28	7,81-8,56	10,03-10,79	13,47-14,7	jumlah	
0,92-1,64	261	0	56	1278	6	273	984	512	946	0	4316	4316
2,9-3,38	2	10	474	480	280	626	220	60	473	95	2720	7036
1,65-2,03	204	0	419	1901	85	1246	1339	686	1087	7	6974	14010
3,39-4,03	0	15	131	51	112	105	23	7	49	111	604	14614
2,46-2,84	52	4	658	1206	318	957	785	301	1110	72	5463	20077
2,04-2,45	113	2	753	1697	264	1522	1359	682	1715	32	8139	28216
											28216,5	

kumulatif	jumlah	Hs (m)	P(Hs)	ln (Hs-a)	ln[ln(1/(1-P(Hs)))]	kurun waktu	Py	ln[ln(1/(1-P	ln (Hs-a)	Hs
4316	4316	1,64	0,152960147	0,494696	-1,79572211	50	0,999999	2,65281561	1,4741955	4,36752
11290	6974	2,03	0,400120497	0,708036	-0,67133389	100	1	2,70049467	1,4848676	4,414381
19429	8139	2,45	0,688568745	0,896088	0,154073525					
24892	5463	2,89	0,882178867	1,061257	0,760145623					
27612	2720	3,38	0,978576365	1,217876	1,346321101					
28216	604	4,03	0,99998228	1,393766	2,392499777					

Chart Title

$$y = 4,4676x - 3,9333$$

$$R^2 = 0,9945$$



BIODATA PENULIS



Yani Nurita Purnawanti, lahir di Jember – Jawa Timur pada 10 Mei 1993 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Satuwanto dan Edy Hariyani. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SDN Rowotengah II, kemudian melanjutkan ke SMPN 03 Tanggul, dan SMAN 2 Lumajang. Penulis menempuh pendidikan tinggi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS – Surabaya dan lulus

Sarjana (S1) pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan studi Pascasarjana (S2) pada tahun 2016 di Departemen Teknik Kelautan dengan mengambil bidang Teknik Perancangan Bangunan Laut (TPBL). Selama masa perkuliahan penulis aktif di bidang akademik dan non akademik. Penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Biro Media Informasi HIMATEKLA tahun 2012-2013 sekaligus sebagai staf UKK (Unit Kerja Kabinet) BEM FTK – ITS. Pada tahun 2013-2014 penulis menjabat sebagai Kepala Departemen Komunikasi dan Informasi BEM FTK – ITS. Dalam bidang keprofesian, pengalaman yang dimiliki penulis antara lain pernah menjalani 2 bulan masa kerja praktik di PT BKI (Persero) Jakarta Divisi SBU (Strategi Bisnis Unit) Industri. Selama menempuh masa perkuliahan dari tahun 2011 hingga 2015, penulis mendapatkan beasiswa PPA (Peningkatan Prestasi Akademik) dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikti). Ketertarikan penulis terhadap perancangan bangunan laut menjadikan motivasi penulis dalam mendalami bidang ini sehingga menghasilkan beberapa karya tulis berupa Tugas Akhir, Tesis, serta Jurnal. Karya tulis pertama berupa Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Tegangan Maksimum pada *Bollard* Akibat Modifikasi Sistem *Mooring* pada FSO Ladinda”. Selanjutnya jurnal yang telah diseminarkan pada Seminar Internasional ISOCEEN yang berjudul “*Analysis of Static Structural of Ocean FARMITS Offshore Cage due to Environmental Load*”, dan Tesis yang berjudul “Studi Parametrik Desain Inovasi Keramba Jaring Apung (KJA) Lepas Pantai Ocean FarmITS”. Penulis dapat dihubungi melalui email yaninurita@gmail.com atau melalui nomor seluler 085746745928.